

# Modalitätsspezifität impliziten Lernens: Die Rolle der Aufmerksamkeitsausrich- tung

Inauguraldissertation  
zur  
Erlangung des Doktorgrades  
der Humanwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität zu Köln  
nach der Promotionsordnung vom 10.05.2010  
vorgelegt von

Thorsten Lange

aus

Gifhorn

März 2011

Diese Dissertation wurde von der Humanwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität zu Köln im Juni 2011 angenommen.

## Zusammenfassung

Implizites Lernen bezeichnet den Erwerb von Wissen, ohne das sich die betreffende Person des Lernprozesses oder seines Ergebnisses bewusst wäre. Die vorliegende Arbeit thematisiert die Modalitätsspezifität impliziter Lernprozesse. In diesem Zusammenhang lassen sich eine einheitlich-motorische (Willingham, 1998) und eine modulare (Keele, Ivry, Mayr, Hazeltine & Heuer, 2003) Sichtweise eines impliziten Lernsystems gegenüberstellen. Frühere Befunde lassen zudem den Schluss zu, dass implizites Lernen nicht unselektiv ist, sondern die Ausrichtung der Aufmerksamkeit bestimmt, welche Aufgabenrepräsentation entsteht, was determiniert, in welcher Modalität Wissen erworben wird (Wenke und Frensch, 2005, Gaschler, Wenke, Cohen und Frensch, submitted). In einer Reihe von Experimenten wurden daher die Effekte der Aufmerksamkeitsausrichtung auf das erworbene Wissen über eine im Aufgabenmaterial verborgene Sequenz durch die Variation der Eingabemethode untersucht. Anders als von Willingham angenommen, demonstriert das erste Experiment die Möglichkeit impliziten Lernens einer rein perzeptuellen Sequenz, die von der Aufmerksamkeitsausrichtung moderiert wurde. Im Anschluss wurde mithilfe des zweiten Experiments ausgeschlossen, dass sich die Effekte der Aufmerksamkeitsausrichtung auf Unterschiede in der Kapazitätsauslastung zurückführen lassen. Im dritten Experiment zeigte sich, dass die Befunde durch qualitativ unterschiedliche Aufgabenrepräsentationen erklärt werden können. Die vierte Untersuchung überprüfte einen möglichen modularen Aufbau des impliziten Lernsystems, durch paralleles Lernen zweier unabhängiger Sequenzen in verschiedenen Modalitäten. Im abschließenden Experiment wurde die Generalisierbarkeit der Befunde auf die akustische Modalität untersucht. Die beobachteten Effekte werden vor dem Hintergrund der verschiedenen Modellannahmen über implizite Lernsysteme diskutiert.

# Inhalt

|   |     |
|---|-----|
| <b>1. Einleitung</b>  | 5   |
| <b>2. Kriterien und Paradigmen impliziten Lernens</b>             | 8   |
| 2.1 Künstliche Grammatiken  | 10  |
| 2.2 Komplexe Systeme  | 13  |
| 2.3 Sequenzlernen   | 16  |
| 2. 4 Wissensmaße im Bereich impliziten Lernens                    | 21  |
| <b>3. Bewusstsein und implizites Lernen</b>                       | 33  |
| 3.1 Bewusstsein und Qualia  | 33  |
| 3. 2 Entstehung von Bewusstsein                                   | 38  |
| 3.2.1 Quantitative Verstärkung                                    | 41  |
| 3.2.2 Qualitativer Repräsentationswechsel                         | 44  |
| <b>4. Theoretische Vorstellungen zu menschlichen Lernsystemen</b> | 51  |
| <b>5. Implizites Lernen und Aufmerksamkeit</b>                    | 57  |
| 5.1 Aufmerksamkeit als Ressource                                  | 57  |
| 5.2 Aufmerksamkeit als Selektionsprozess                          | 61  |
| <b>6. Fragestellung: Modalitätsspezifität impliziten Lernens</b>  | 66  |
| <b>7. Empirischer Teil</b>  | 76  |
| 7.1 Experiment 1: Perzeptuelles implizites Lernen                 | 76  |
| 7.1.1 Methode Experiment 1  | 80  |
| 7.1.2 Ergebnisse Experiment 1                                     | 84  |
| 7.1.3 Interpretation Experiment 1                                 | 90  |
| 7. 2 Experiment 2: Ausschluss der Kapazitätsannahme               | 93  |
| 7.2.1 Experiment 2: Methode                                       | 94  |
| 7.2.2 Experiment 2: Ergebnisse                                    | 96  |
| 7.2.3 Experiment 2: Interpretation                                | 102 |
| 7.3 Experiment: Qualitative Repräsentationsunterschiede           | 105 |
| 7.3.1 Experiment 3: Methode                                       | 106 |
| 7.3.2 Experiment 3: Ergebnisse                                    | 109 |
| 7.3.3 Experiment 3: Interpretation                                | 114 |

|  |            |
|--|------------|
| 7.4 Experiment 4: Paralleles Lernen unkorrelierter Sequenzen ..... | 116        |
| 7.4.1 Experiment 4: Methode .....                                  | 118        |
| 7.4.2 Experiment 4: Ergebnisse .....                               | 121        |
| 7.4.3 Experiment 4: Interpretation .....                           | 127        |
| 7.5 Experiment 5: Lernen akustischer Sequenzen .....               | 129        |
| 7.5.1 Experiment 5: Methode .....                                  | 130        |
| 7.5.2 Experiment 5: Ergebnisse .....                               | 131        |
| 7.5.3 Experiment 5: Interpretation .....                           | 135        |
| <b>8. Diskussion .....</b>   | <b>137</b> |
| <b>9. Literatur .....</b>  | <b>146</b> |

# 1. Einleitung

In den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts sorgte ein US-amerikanischer Boxer namens Roy Jones Jr. im professionellen Boxsport für Aufsehen. Ein Grund für seine Popularität ist zweifelsohne die seltene Leistung, Weltmeisterschaftstitel in insgesamt vier verschiedenen Gewichtsklassen zu erringen, vom Mittelgewicht bis zum Schwergewicht. Darüber hinaus erwarb er sich schnell den Spitznamen „The Unstoppable“ durch seine beeindruckende Kampfbilanz von 54 Siegen in bis heute insgesamt 61 Kämpfen, wovon er insgesamt 40 seiner siegreichen Kämpfe vorzeitig durch einen K.O. für sich entscheiden konnte. Durch seinen fortwährenden Wechsel der Gewichtsklassen hatte er schnell den Ruf des besten „pound-for-pound“-Kämpfers (Kampfstärke und Schlaghärte in Relation zum eigenen Körpergewicht) inne. Besonders bemerkenswert ist sicherlich seine Leistung im Schwergewicht, wenn man sich die vergleichsweise geringe Körpergröße von 1,80 m vor Augen führt, was in diesem sportlichen Umfeld schnell zu einem erheblichen Nachteil aufgrund der relativ kurzen Reichweite werden kann. Wie gelingt es also einem professionellen Athleten solche möglicherweise entscheidenden körperlichen Nachteile auszugleichen?

Die erste offensichtliche und auch oberflächliche Antwort auf diese Frage ist wahrscheinlich „mehr Training bzw. Übung“. Diese Antwort führt aus psychologischer Sicht sehr schnell zu weiteren Fragen, welche nicht nur aus sportwissenschaftlicher Sicht relevant sind: Welche Effekte hat „Übung“? Wie sehen die Mechanismen aus, die hinter diesen Effekten stehen? Welchen Einschränkungen unterliegen diese Effekte? Diese und ähnliche Fragen führen direkt in das wissenschaftliche Feld des Fertigkeitserwerbs, oder genauer, zum impliziten Lernen. Implizites Lernen kann in einer ersten groben Definition als Lernen ohne Intention und Bewusstsein über das Gelernte verstanden werden (Frensch & Rüniger, 2003). Darunter lässt sich eine Verhaltensoptimierung verstehen, die nicht mit einer Veränderung der Inhalte des Bewusstseins einhergeht (Boyer, Destrebecqz & Cleeremans, 2005). Würde man beispielsweise Roy Jones Jr. nach dem Grund für seine vielen erzielten K.O.s fragen, bekäme man

wahrscheinlich keine zufriedenstellende Antwort. Ein Blick in die Literatur zum impliziten Lernen lässt jedoch eine Beantwortung dieser Frage zu. Um im Boxsport einen Wirkungstreffer zu erzielen, ist eine Lücke in der Deckung des Gegners und die Ausnutzung dieser Lücke unerlässlich. Da die Bewegungsgeschwindigkeit der Kontrahenten in solch einer Situation sehr hoch ist, ist die Lücke meist nur sehr kurz vorhanden. Um trotz dieses kleinen Zeitfensters eine erfolgreiche Aktion durchführen zu können, bedarf es der (motorischen) Vorbereitung dieser Aktion oder gar des Starts der Aktion, bevor sich die Lücke öffnet. Das Wissen darum, wann diese Vorbereitung abgeschlossen sein muss oder die Bewegung gestartet werden muss, also wann sich eine Lücke ergibt, kann als Ergebnis impliziter Lernprozesse verstanden werden. Dieses Wissen ist dem Bewusstsein jedoch nicht zwangsläufig zugänglich und damit auch nicht verbalisierbar. Als Beispiel für die Dissoziation von Verhaltensanpassung und Bewusstsein lassen sich nicht nur sportliche Fähigkeiten heranziehen (Cleeremans, 2002). Ebenso wie ein Boxer meist nicht angeben kann, woher er weiß, wann er schlagen muss, ist ein Pianist wahrscheinlich nicht in der Lage zu erklären, wie er die komplexen Bewegungsmuster seiner Hände beim Musizieren bewerkstelligt.

Die Gemeinsamkeit der beiden obigen Beispiele liegt in der motorischen Qualität der erlernten Fertigkeiten und es lassen sich in der Literatur eine große Anzahl weiterer Evidenzen für motorisches implizites Lernen finden (siehe z.B. Abschnitt 2.3). Eine bisher offene Frage ist jedoch, ob sich implizites Lernen auch in einer rein visuellen Modalität zeigt. Damit einher geht die Frage nach der Einheitlichkeit von impliziten Lernprozessen, was die zentrale Fragestellung der vorliegenden Arbeit darstellt. Konkret soll untersucht werden, ob ein angenommener impliziter Lernmechanismus eine einheitliche Struktur aufweist oder modalitätsspezifisch ist. Zusätzlich soll geklärt werden, ob eine eventuelle Modalitätsspezifität von der Ausrichtung der Aufmerksamkeit beeinflusst wird (siehe Abschnitt 6).

Zuvor sollen jedoch zunächst die wichtigsten Kriterien für implizites Lernen und die gängigen Paradigmen in diesem Forschungsbereich vorgestellt werden (Abschnitt 2). In Anlehnung an die obengenannte Definition von implizitem Lernen von Boyer und Kollegen (Boyer et al., 2005) werden im Anschluss einige zentrale Aspekte der Bewusstseinsforschung diskutiert (Abschnitt 3), welchen eine hohe Relevanz für die verschiedenen Vorstellungen zu menschlichen Lernmechanismen (Abschnitt 4) innewohnt. Danach wird in Abschnitt 5 die Rolle der Aufmerksamkeit bei der Funktion von impliziten Lernprozessen beleuchtet, bevor in Abschnitt 6 die dieser Arbeit zugrundeliegende Fragestellung präzisiert wird.

## 2. Kriterien und Paradigmen impliziten Lernens

Obwohl sich in den letzten 40 Jahren eine große Zahl wissenschaftlicher Arbeiten mit implizitem Lernen beschäftigt hat, bleiben viele Fragen zu diesem Gebiet immer noch offen. Dies beginnt bereits bei dem Versuch einer Definition impliziten Lernens. Frensch (1998) stellt beispielsweise eine Vielzahl verschiedener Definitionen vor, die auf unterschiedliche Aspekte impliziten Lernens sowie dessen Abgrenzung zum expliziten Lernen fokussieren. Aufgrund dieses Mangels einer allgemein anerkannten Definition impliziten Lernens erscheint die oft kontrovers geführte Debatte über die Existenz eines impliziten Lernmechanismus sowie seiner eventuellen Eigenschaften nicht verwunderlich.

Aufgrund der Uneinigkeit bezüglich einer allgemeingültigen Definition scheint es sinnvoll, zunächst die Kriterien zu betrachten, die zumindest weitgehend anerkannt sind, um das Phänomen zu beschreiben. Das wohl am wenigsten umstrittene Kriterium ist die inzidentelle Qualität der Lernsituation (Cleeremans, Destrebecqz & Boyer, 1998; Dienes & Berry, 1997; Jiménez & Méndez, 2001). Der Begriff inzidentell bedeutet in diesem Zusammenhang, dass ohne Intention gelernt wird. Denn den Probanden in Experimenten zum impliziten Lernen wird keine Information darüber gegeben, dass dem Stimulusmaterial bestimmte Regularitäten zugrunde liegen, und häufig können die Probanden auch nach der Lernepisode die Regularitäten sogar auf Nachfrage nicht korrekt benennen. Jedoch lassen sich Lerneffekte im Verhalten beobachten, wie zum Beispiel Performanzvorteile in einer Wahlreaktionsaufgabe (Nissen & Bullemer, 1987), eine überzufällige Diskriminationsleistung (Reber, 1967), oder eine verbesserte Leistung bei der Regulation komplexer Systeme (Berry & Broadbent, 1984).

Ein weiteres Charakteristikum impliziten Lernens, welches sich unmittelbar aus der inzidentellen Lernsituation ergibt, besteht darin, dass sowohl der Lernprozess als auch das entstehende Wissen unbewusst bleiben. Schon in den ersten Studien zum impliziten Lernen von Reber (Reber, 1967; 1969; 1989; Reber & Lewis, 1977) wird pos-



tuliert, dass sich das erworbene Wissen dem Bewusstsein entzieht, sich aber trotzdem eine abstrakte Repräsentation der (komplexen) in der Lernumgebung enthalten Regularitäten bildet. Dieses Wissen kann als „deep, abstract, and representative of the structure inherent in the underlying invariance patterns of the stimulus environment“ (Reber, 1989, S. 226) beschrieben werden. Wie bereits erwähnt, sind weder dieses Wissen um die Regularitäten der Lernumgebung noch dessen Erwerb dem Probanden zugänglich.

Aus der Annahme, dass ohne Intention gelernt wird, wurde oft abgeleitet, dass implizite Lernprozesse weitestgehend unabhängig von Aufmerksamkeitsressourcen sind (Frensch, 1998; Jiménez & Méndez, 1999). Obwohl die drei genannten Kriterien auf den ersten Blick plausibel sein mögen und damit eine Definition impliziten Lernens nicht sonderlich schwer erscheint, gibt es immer noch eine kontrovers geführte Debatte darüber, inwiefern implizite Lernprozesse unbewusst ablaufen und ob sie wirklich Wissen generieren, welches dem Bewusstsein unzugänglich ist. Während einige Autoren dies völlig ablehnen (Perruchet & Vinter, 2002; Shanks & St. John, 1994; Shanks, Wilkinson & Channon, 2003), sprechen sich andere Autoren für diese Möglichkeit aus (Frensch et al., 2003; Haider & Frensch, 2005; Haider, Eichler & Lange, in press; Keele et al., 2003; Reber, 1989).

Auch die Unabhängigkeit von Aufmerksamkeitsressourcen ist nicht unumstritten. So fanden beispielsweise Frensch, Buchner und Lin (1994) keine Beeinträchtigung des impliziten Wissens bei der Verwendung einer parallelen Sekundäraufgabe, jedoch gibt es auch gegenteilige Befunde (Shanks, Rowland & Ranger, 2005). Zudem gibt es kritische Positionen zu den in diesen Studien zumeist verwendeten Sekundäraufgaben (Stadler, 1995). Dies wird in Abschnitt 5.1 ausführlicher diskutiert.

Bevor jedoch auf die methodischen Probleme bei der Untersuchung impliziten Lernens eingegangen wird (Abschnitt 2.4), sollen zunächst drei der wichtigsten Paradigmen in diesem Bereich vorgestellt werden, das Lernen künstlicher Grammatiken

(Abschnitt 2.1), die Steuerung komplexer Systeme (Abschnitt 2.2) und das Sequenzlernen (Abschnitt 2.3).

## 2.1 Künstliche Grammatiken

In seinen Pionierarbeiten präsentierte Reber (1967, 1969) seinen Probanden zunächst in einer Lernphase eine Reihe von Buchstabenketten (z.B. TPTXVS), deren Zusammenstellung einer komplexen künstlichen Grammatik folgte. Die Aufgabe der Probanden war es, diese Buchstabenketten so lange zu memorieren, bis sie sie fehlerfrei reproduzieren konnten. Die Instruktionen in dieser Lernphase gaben keinen Hinweis auf die zugrundeliegende Grammatik, sondern wiesen die Untersuchung als Gedächtnisexperiment aus. Die Existenz einer zugrundeliegenden Regel wurde den Probanden erst vor dem Beginn der anschließenden Testphase offenbart. Hier wurden neue Buchstabenketten präsentiert, welche entweder ebenfalls nach den Regeln der Grammatik zusammengestellt wurden, oder mindestens eine dieser Regeln verletzten. Aufgabe der Probanden war es nun, die neuen Buchstabenketten nach ihrer Korrektheit im Sinne der Grammatik zu klassifizieren. Dabei fand sich eine Dissoziation zwischen der Diskriminationsleistung der Probanden, welche signifikant über Zufall lag, und der Fähigkeit der Probanden, ihre Klassifikationsurteile zu begründen. Reber schloss aus diesen Ergebnissen, dass die Probanden die zugrundeliegenden Regeln der Grammatik zumindest teilweise in abstrakter Form gelernt haben mussten, ihnen dieses Wissen aber nicht für eine Verbalisierung zur Verfügung stand. Ein Beispiel für eine künstliche Grammatik, wie sie Reber (1967) verwendete, zeigt Abbildung 2.1.

Wie man in Abbildung 2.1 erkennen kann, sind die zugrundeliegenden Regeln der künstlichen Grammatik überaus komplex. Zudem lässt sich mit ihrer Hilfe eine große Anzahl verschiedener Stimuli generieren. Dies ist nach Reber (1989) eine der Voraussetzungen für das Auftreten von impliziten Lernprozessen in diesem Paradigma.

Denn die Komplexität der verwendeten Grammatik muss ausreichend hoch sein, um zu verhindern, dass Probanden die Struktur der Grammatik explizit erlernen.

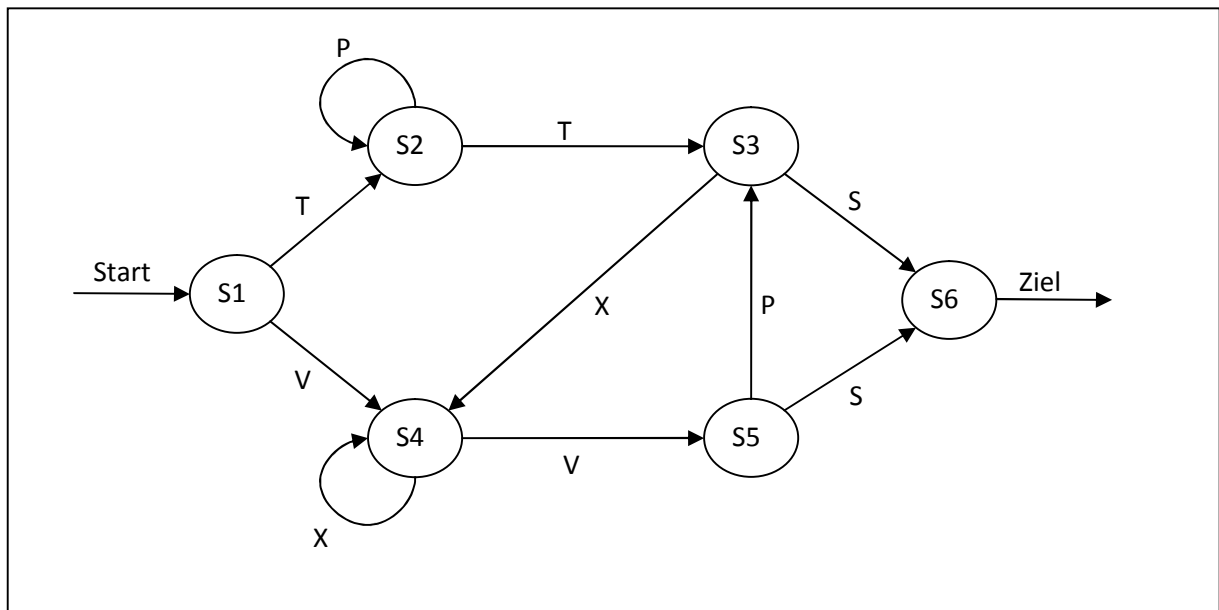


Abbildung 2.1: Künstliche Grammatik (nach Reber, 1967). Mögliche Buchstabenketten ergeben sich aus dem Durchlauf von Startstimulus (S1) zu Zielstimulus (S6) entlang der eingezeichneten Verbindungen. Dabei können beispielsweise durch Wiederholungen (z.B. S2) Buchstabenketten unterschiedlicher Länge entstehen.

Rebers (1967; 1989) Interpretation, dass die Probanden in diesem Paradigma abstraktes implizites Wissen über die Grammatik erwerben, blieb nicht ohne Widerspruch. Eine frühe Studie von Reber (1969) selbst lieferte zunächst Hinweise auf den Erwerb abstrakten Wissens. In dieser Untersuchung wurde nach einer ersten Lernphase entweder das verwendete Buchstabenset (Symbolik) gewechselt und die Grammatik (Syntax) blieb unverändert, oder die Symbolik wurde beibehalten und die Syntax wurde geändert. Als Maß für das erworbene Wissen diente hierbei die Anzahl der Fehler, die die Probanden bei der Reproduktion der Buchstabenketten machten. In einer nachfolgenden Transferphase mit dem jeweils neuen Material zeigten sich nur Einbußen bei der Gruppe, die Stimuli mit veränderter Grammatik zu bearbeiten hatte. Allerdings kamen andere Autoren zu gegenteiligen Ergebnissen. Beispielsweise trainierten Perruchet und Pacteau (1990) einen Teil der Probanden nur mit Buchstabenpaaren anstatt mit ganzen Buchstabenketten und fanden keinen Unterschied zu

Probanden mit herkömmlicher Lernphase (siehe auch Servan-Schreiber & Anderson (1990) für ähnliche Ergebnisse). Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass beim Training mit künstlichen Grammatiken lediglich Assoziationen zwischen einzelnen Buchstaben erlernt werden. Ähnliche Ergebnisse lassen sich bei Dienes, Broadbent und Berry (1991) bezüglich der Position einzelner Buchstaben in der Kette finden. Unterstützung für Rebers These liefert hingegen die Studie von Gomez und Schvaneveldt (1994), in der die Probanden auch entweder mit einzelnen Buchstabenpaaren oder mit ganzen Buchstabenketten trainiert wurden. In einer anschließenden Transferaufgabe, ähnlich derjenigen, die von Reber (1969) verwendet wurde, zeigten nur die Probanden mit herkömmlichem Training positiven Transfer bei geänderter Symbolik und konstanter Syntax. Es ist also durchaus umstritten, ob im Rahmen des Paradigmas der künstlichen Grammatiken tatsächlich abstraktes implizites Wissen über die zugrundeliegende Regularität erworben wird oder ob sich die überzufällig gute Klassifikationsleistung auch mit Assoziationen zwischen einzelnen Teilen des Stimulusmaterials erklären lässt.

Auch für die Annahme zweier distinkter, unabhängiger Lernmechanismen (Reber, 1989) lassen sich einige Hinweise finden. Dazu variierte Reber (1976) die Art der Instruktion vor der Lernphase, indem er die eine Hälfte seiner Probanden von der Existenz der Regel in Kenntnis setzte (explizit), die andere Hälfte nicht (implizit). In der anschließenden Klassifikationsaufgabe konnten zwar beide Gruppen überzufällig gut zwischen grammatikalisch korrekten und inkorrekten Stimuli unterscheiden, jedoch erreichte die explizite Gruppe nicht das Niveau der impliziten Probanden (siehe auch Reber und Lewis (1977) und Reber, Kassin, Lewis und Cantor (1980) für ähnliche Ergebnisse). Allerdings existieren hierzu auch problematische Befunde bezüglich Rebers Annahmen. Einige Autoren kritisierten den verbalen Report als Maß für die Bewusstheit des erworbenen Wissens als zu wenig sensitiv und nehmen an, dass das explizite Wissen damit unterschätzt wird (Dienes et al., 1991; Perruchet & Pacteau, 1990). So fanden beispielsweise Dulany, Carlson und Dewey (1984), dass die Probanden in der Lage sind die korrekten und inkorrekten Teile einer Buchstaben-

kette zu markieren und ihre Leistung in dieser Aufgabe ihre Leistung in der eigentlichen Klassifikationsaufgabe gut vorhersagt. Ferner konnten Mathews, Buss, Stanley, Blanchard-Fields, Cho und Druhan (1989) zeigen, dass Probanden ihr Wissen so weit verbalisieren konnten, dass andere Probanden mithilfe dieser Verbalisierungen als Instruktion auch ohne eigene Lernphase überzufällig gute Leistungen in der Klassifikationsaufgabe erreichten. Jedoch lag die Klassifikationsleistung der Probanden mit eigener Trainingsphase immer noch über derjenigen von Versuchspersonen, die ihre Klassifikationsurteile nur auf die Instruktionen stützten. Ähnlich widersprüchliche Befunde zur Verbalisierbarkeit des Wissens finden sich ebenfalls in den anderen hier vorgestellten Paradigmen und lassen sich über die eingesetzten Maße für implizites Wissen erklären (siehe Abschnitt 2.4).

## 2.2 Komplexe Systeme

Ein großer Teil der Befunde zur Kontrolle komplexer Systeme stammt von Broadbent und Kollegen (Berry & Broadbent, 1984, 1987, 1988; Broadbent & Aston, 1978; Broadbent, Fitzgerald & Broadbent, 1986). Die Aufgaben umfassen dabei die Kontrolle einer Zuckerfabrik, des öffentlichen Nahverkehrs, einer Volkswirtschaft, oder die Interaktion mit einer künstlichen Computerperson. All diesen Aufgaben ist gemein, dass die Probanden mithilfe der Manipulation einer oder mehrerer (Kontroll-) Variablen einen Sollwert in einer anderen (Ziel-) Variablen erreichen sollen. Dabei erhalten sie nach jedem Durchgang eine Rückmeldung über den aktuellen Stand der Zielvariablen. Bei der Kontrolle der Zuckerfabrik sollen die Probanden beispielsweise einen bestimmten Zuckerertrag erreichen, indem sie die Anzahl der eingesetzten Arbeitskräfte in jedem Durchgang manipulieren. In der Interaktion mit der Computerperson sollen sie erreichen, dass die Person ihnen freundlich gesinnt ist, indem sie aus einer Reihe von Adjektiven dasjenige auswählen, das ihr eigenes Verhalten gegenüber der Computerperson beschreibt (z.B. freundlich, kühl, verärgert). Ein Beispiel für komplexere Aufgaben liefern Broadbent et al. (1986). In ihrer Untersuchung

sollten die Probanden die Frequenz der Busse im öffentlichen Nahverkehr und die Parkplatzgebühren in der Innenstadt manipulieren, um einerseits die Busse möglichst optimal auszulasten und gleichzeitig eine Überfüllung der Parkplätze zu verhindern. Ein typisches Ergebnis dieser Untersuchungen ist, dass die Probanden durch Übung ihre Leistung in der Kontrolle der Systeme verbessern können. Diese Verbesserung geht aber nicht mit der Fähigkeit einher, anschließende Fragen zur Wirkweise des Systems beantworten zu können (Berry & Broadbent, 1984).

All diesen verschiedenen Aufgaben liegen verborgene Regularitäten zugrunde, deren Existenz den Versuchspersonen in den meisten Fällen nicht bekannt gegeben wird. Ähnlich den Paradigmen zum Lernen künstlicher Grammatiken müssen diese Regularitäten auch hier eine gewisse Komplexität aufweisen, damit sie nicht zu leicht entdeckt werden (Berry & Broadbent, 1984). Dies wird erreicht, indem der Wert der Zielvariablen im aktuellen Durchgang nicht nur von der aktuellen Einstellung der Kontrollvariablen beeinflusst wird, sondern auch von ihrem Wert im vorangegangenen Durchgang. So wird verhindert, dass Probanden durch Zufall eine Einstellung vornehmen die den Wert der Zielvariablen auf Höhe des Sollwerts bringt und die Probanden anschließend diese Einstellung einfach nur wiederholen.

Wie bereits erwähnt ist es umstritten, welche Art von Wissen in Paradigmen zum impliziten Lernen erworben wird. Die Annahme einer abstrakten impliziten Repräsentation der verborgenen Regularitäten (Reber, 1967, 1989) wurde ebenfalls in Studien zur Kontrolle komplexer Systeme untersucht. Berry und Broadbent (1988) fanden dabei einen positiven Transfer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Aufgaben, wenn beide Aufgaben sowohl der gleichen Regularität folgten, als auch dieselben Oberflächenmerkmale aufwiesen (z.B. zwei Versionen der Aufgabe zur Kontrolle des öffentlichen Nahverkehrs). Die Transfereffekte blieben jedoch aus, wenn sich die Oberflächenmerkmale der Aufgabe voneinander unterschieden (z. B. eine Aufgabe zur Interaktion mit der Computerperson und anschließend eine Aufgabe zur Kontrolle des Nahverkehrs), aber der gleichen abstrakten Regularität folgten.

Auch die Annahme zweier distinkter Lernmechanismen wurde mithilfe der Paradigmen zur Kontrolle komplexer Systeme untersucht. Beispielsweise trainierten Berry und Broadbent (1984) ihre Probanden zwei Aufgabenblöcke lang in der Kontrolle einer Zuckerfabrik. Einem Teil der Probanden wurde nach dem ersten Block eine detaillierte Beschreibung der zugrundeliegenden Regularität, inklusive einiger Beispiele für ihre Wirkweise, gegeben. Dies hatte zwar keinen positiven Einfluss auf die Leistung in der Aufgabe, wohl aber auf das Ausmaß verbalisierbaren Wissens. Ähnliche Ergebnisse lassen sich auch bei Broadbent et al. (1986) finden. Dort sollten die Probanden in einer komplexeren Aufgabe mit jeweils zwei Kontrollvariablen und zwei Zielvariablen den öffentlichen Nahverkehr kontrollieren, nachdem sie zunächst einen Vorabfragebogen über das System bearbeitet hatten. Die Hälfte der Versuchspersonen musste den Fragebogen eigenständig ausfüllen, die andere Hälfte erhielt Exemplare mit bereits eingetragenen korrekten Antworten. In einem postexperimentellen Fragebogen zur Erfassung des verbalisierbaren Wissens, welcher im Anschluss an die Trainingsphase gegeben wurde, zeigte die Gruppe mit vorgefertigten Antworten im Vorabfragebogen bedeutend mehr Wissen. Dieser Unterschied ließ sich jedoch nicht in der Aufgabenleistung wiederfinden. Allerdings finden sich auch hier kontroverse Befunde, in denen sich keine Unabhängigkeit von Aufgabenleistung und Verbalisierbarkeit des Wissens zeigt. Marescaux, Luc und Karnas (1989) nutzten beispielsweise die Aufgabe zur Zuckerfabrik und variierten den nachfolgenden Fragebogen zur Erfassung des Verbalwissens. In der Experimentalgruppe wurden die Fragen jeweils der tatsächlichen Interaktion der Probanden angepasst (erlebte Situation). In der Kontrollgruppe wurden die Fragen mit randomisierten Werten der Kontroll- und Zielvariablen gestellt (neue Situation). Es zeigte sich ein erhöhtes Verbalwissen in der Experimentalgruppe (siehe auch Dienes & Fahey (1995) und Buchner, Funke & Berry (1995) für ähnliche Ergebnisse). Es ist also durchaus möglich, dass die verwendeten Maße zur Verbalisierbarkeit des Wissens in den anderen genannten Studien das explizite Wissen unterschätzt haben und die gefundene Dissoziation zwischen Aufgabenleistung und Verbalisierbarkeit des Wissens somit ein Artefakt darstellt

(Shanks & St. John, 1994). Diese Problematik wird in Abschnitt 2.4 ausführlicher diskutiert.

## 2.3 Sequenzlernen

Die meisten Untersuchungen zum impliziten Lernen nutzen bis heute Variationen der sogenannten Seriellen Wahl-Reaktions-Aufgabe (Serial Reaction Time Task, im weiteren SRT), welche zuerst von Nissen und Bullemer (1987) vorgestellt wurde. In der ursprünglichen Version des Paradigmas erschien in jedem Versuchsdurchgang ein Stimulus an einer von vier verschiedenen Positionen auf einem Bildschirm. Zu jeder dieser möglichen Positionen existierte eine Reaktionstaste, deren räumliche Anordnung der jeweiligen Position auf dem Bildschirm entsprach. Die Aufgabe der Versuchspersonen bestand darin, so schnell wie möglich diejenige Taste zu drücken, die der räumlichen Position des Stimulus entsprach (siehe Abbildung 2.1). Die Zuordnung zwischen Zielpositionen und Reaktionstasten war dabei konstant.

Nach der Reaktion der Versuchsperson verschwand der Stimulus und es folgte ein Intervall von 500 ms bis zum Erscheinen des nächsten Stimulus (Response Stimulus Intervall, im weiteren RSI). Das Training in der SRT umfasste acht Blöcke mit jeweils 100 Durchgängen. Dabei wurde den Versuchspersonen nicht mitgeteilt, dass die Reihenfolge der Zielpositionen nicht zufällig war, sondern einer zehnstelligen Sequenz folgte. Wenn man den Positionen von links ausgehend aufsteigende Zahlen zuweist, kann die Sequenz als 4-2-3-1-3-2-4-3-2-1 beschrieben werden. Durch die konstante Zuordnung zwischen Zielpositionen und Reaktionstasten ergibt sich eine Sequenz der motorischen Eingaben.



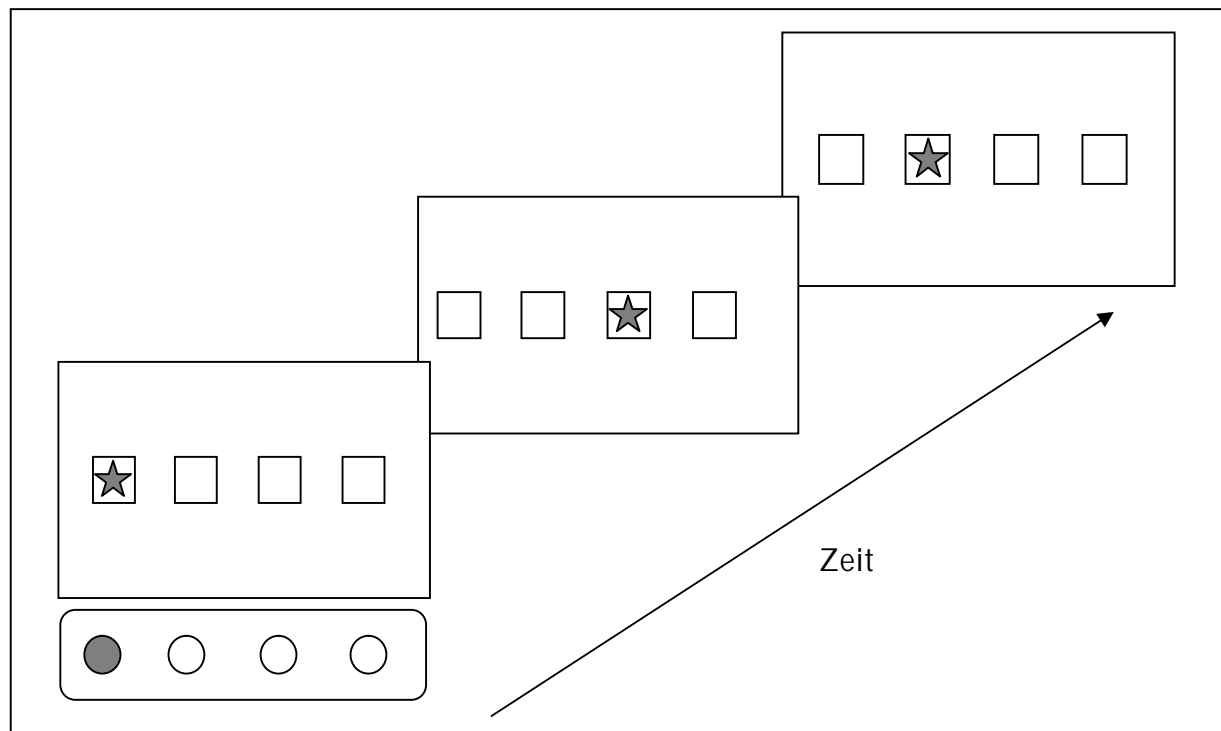


Abbildung 2.1: Versuchsaufbau von Nissen und Bullemer (1987). Der Stimulus erscheint hier zuerst an der ganz linken Position auf dem Bildschirm. Um korrekt zu reagieren, muss die Versuchsperson die linke Reaktionstaste (grau markiert) betätigen. Im folgenden Durchgang müsste die dritte Taste und im dritten Durchgang die zweite Reaktionstaste gedrückt werden.

Die verwendeten Sequenzen können dabei in ihrer Länge und Komplexität variieren. Unterschieden werden muss hierbei vor allem zwischen Sequenzen erster Ordnung und Sequenzen zweiter oder höherer Ordnung. Sequenzen erster Ordnung (First-Order-Conditionals, im weiteren FOC) zeichnen sich dadurch aus, dass jedes Element in der Sequenz durch das vorangegangene Element eindeutig vorhergesagt wird. Ein Beispiel für eine FOC wäre die Sequenz 4-2-1-3. Sequenzen zweiter Ordnung (Second-Order-Conditionals, im weiteren SOC) sind im Vergleich komplexer. Hier werden zwei vorangegangene Elemente benötigt, um das aktuelle Element zu bestimmen. Ein Beispiel für eine SOC stellt die oben dargestellte Sequenz (4-2-3-1-3-2-4-3-2-1) aus der Untersuchung von Nissen und Bullemer (1987) dar. Um hierbei die Position 1 vorherzusagen reicht es nicht aus die vorangegangene Position zu kennen (es ist sowohl Position 3, als auch Position 2 möglich). Erst die Kenntnis der letzten und vorletzten Position ermöglicht eine sichere Vorhersage. Nach dem gleichen Muster steigt

die Komplexität bei Sequenzen höherer oder n-ter Ordnung, wobei n der Menge der Elemente der Sequenz entspricht, die für eine Vorhersage benötigt werden. Auch Mischformen aus FOC und SOC sind möglich und werden als Hybriden bezeichnet (Cohen, Ivry & Keele, 1990).

Ein typisches Ergebnis des Trainings in der SRT mit regelhaftem Material ist eine Verkürzung der Reaktionszeiten im Verlauf des Trainings. Um auszuschließen, dass diese Beschleunigung der Reaktionen lediglich auf reine Übungseffekte im Umgang mit der Aufgabe zurückgeht, werden verschiedene Vergleichsmaße genutzt. Eine Möglichkeit ist, eine Kontrollgruppe mit randomisiertem Material zu trainieren und den Unterschied hinsichtlich der Verkürzung der Reaktionszeiten zwischen dieser Gruppe und der Gruppe mit Training in der regelhaften Bedingung zu betrachten (Nissen & Bullemer, 1987). Eine andere Möglichkeit besteht darin, gegen Ende des Trainings einen Transferblock zu präsentieren, in welchem die regelhafte Sequenz durch randomisiertes Material ersetzt wird. Nach diesem Block bearbeiten die Versuchspersonen einen weiteren Block mit regelhaftem Material. Verglichen werden nun die Reaktionszeiten während des Transferblocks mit denen vor und nach dem Transferblock (Cohen et al., 1990). Typische Ergebnisse für beide Methoden werden in Abbildung 2.2 dargestellt (links der Vergleich mit einer Kontrollgruppe, rechts die Präsentation eines Transferblocks). Auch Kombinationen beider Methoden sind möglich, oder das Messen von negativem Transfer durch Nutzung von Devianten, also einzelnen Durchgängen, die nicht der Sequenz entsprechen (Cleeremans & McClelland, 1991).

Im Anschluss an das Training in der SRT erfolgt in der Regel ein Test des expliziten Wissens, um zu überprüfen inwiefern die Probanden dazu in der Lage sind die Sequenz wiederzugeben. In den ersten Studien mit diesem Paradigma wurden hierzu vor allem der verbale Report oder eine Generierungsaufgabe verwendet (Nissen & Bullemer, 1987; Willingham, Nissen & Bullemer, 1989).

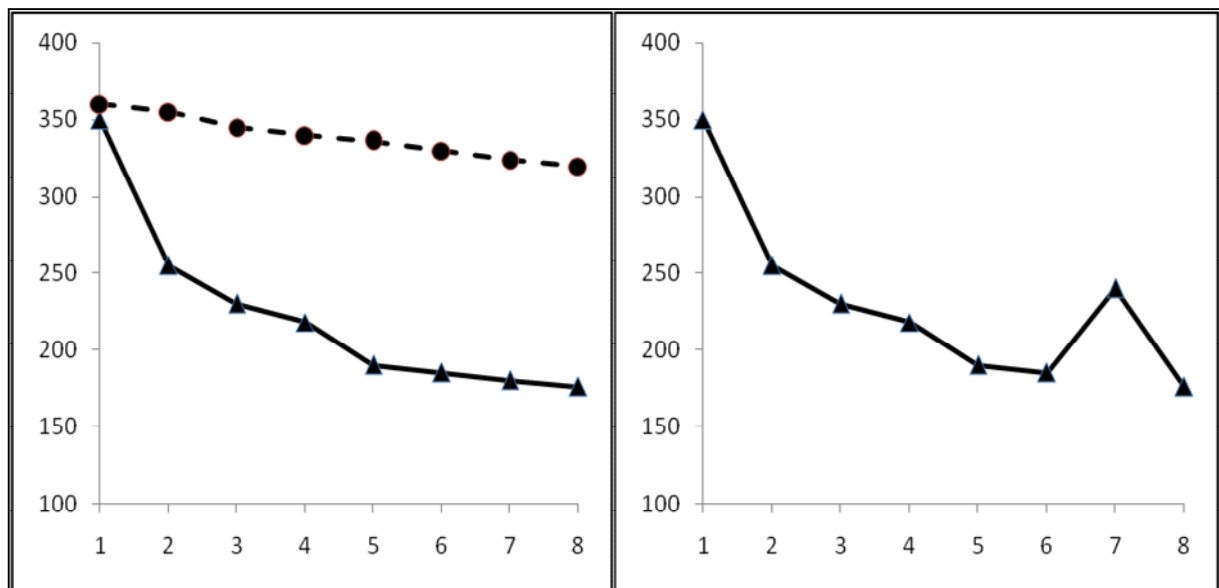


Abbildung 2.2: Zwei verschiedene Maße für implizites Lernen in der SRT. Auf der Abszisse sind die Blöcke des SRT-Trainings abgetragen, auf der Ordinate die gemittelten Reaktionszeiten in ms. Auf der linken Seite ist der Vergleich zwischen einer Kontrollgruppe mit randomisiertem Material (Kreise) und einer Gruppe mit regelhaftem Material abgebildet. Auf der rechten Seite sieht man typische Ergebnisse bei der Verwendung eines Transferblocks mit randomisiertem Material im vorletzten Block.

Während beim verbalen Report die Versuchsperson im Anschluss an das SRT-Training über der Sequenz befragt wird, soll sie in der Generierungsaufgabe die Sequenz selbst reproduzieren. Hierzu bearbeiten die Versuchspersonen jeweils einige Durchgänge, die denen in der SRT ähneln, und sollen anschließend eine Vorhersage des nächsten Stimulus vornehmen. Der Fokus dieser postexperimentellen Tests liegt auf der Dissoziation zwischen Performanzverbesserung während des SRT-Trainings und dem explizit verfügbaren Wissen über die Sequenz. Implizites Wissen über die Sequenz liegt hingegen dann vor, wenn die Versuchspersonen eine signifikante Verkürzung der Reaktionszeiten im Vergleich zu randomisiertem Material erreichen, gleichzeitig aber nicht in der Lage sind, explizit über dieses Wissen zu verfügen (Perruchet & Amorim, 1992).

Wie in den anderen hier vorgestellten Paradigmen auch lag das Hauptaugenmerk der früheren Studien zum Sequenzlernen auf der Untersuchung des Phänomens impliziten Lernens und dessen Abgrenzung zu expliziten Lernprozessen (Cleeremans

& McClelland, 1991; Cohen et al., 1990; Nissen & Bullemer, 1987; Perruchet & Amorim, 1992; Willingham et al., 1989). So fanden Nissen und Bullemer (1987) in ihrer Untersuchung bereits nach sechs Wiederholungen der Sequenz ähnliche Reaktionszeitvorteile wie in Abbildung 2.2 (links) dargestellt, bei einem Vergleich zweier Gruppen, von denen nur eine mit regelhaftem Material trainiert wurde. Allerdings war keine der Versuchspersonen in der Lage die Sequenz auf Nachfrage zu benennen, obwohl fast alle Versuchspersonen angaben eine Sequenz bemerkt zu haben. Cleeremans und McClelland (1991) fanden ähnliche Lerneffekte selbst bei der Verwendung einer komplexeren SOC Sequenz mit zusätzlichen Devianten. Willingham et al. (1989) bildeten im Anschluss an ein SRT-Training anhand der Ergebnisse in der Generierungsaufgabe postexperimentelle Gruppen, die sich hinsichtlich der verbalen Verfügbarkeit des erworbenen Wissens unterschieden. Hierbei konnten sie zeigen, dass auch Versuchspersonen ohne Verbalwissen signifikante Lerneffekte in den Reaktionszeiten aufweisen. Weitere Evidenz für die Trennung zwischen impliziten und expliziten Lernprozessen lässt sich auch auf neurobiologischer Ebene finden. Eine Injektion mit Scopolamin, welches die Leistung in expliziten Gedächtnistests wie Reproduktion und Rekognition beeinträchtigt, hatte keinen Einfluss auf die impliziten Performanzmaße in der SRT (Nissen, Knopman & Schacter, 1987).

Auch an diesen frühen Befunden zum impliziten Sequenzlernen wurde jedoch Kritik geübt. So kritisierten Perruchet und Amorim (1992) die verwendeten Maße zur Erfassung expliziten Wissens als unzureichend und fanden bei der Verwendung einer modifizierten Generierungsaufgabe hohe Korrelationen zwischen den Änderungen der Reaktionszeiten im Verlauf des SRT-Trainings und den Leistungen in der modifizierten Generierungsaufgabe sowie einem Rekognitionstest für Teile der Sequenz (siehe dazu jedoch auch die Kommentare von Cohen & Curran (1993) und Willingham, Greeley & Bardone (1993)). Zudem kamen Zweifel daran auf, ob im Rahmen der SRT tatsächlich implizites Wissen über die zugrundeliegende Sequenz erworben wird, oder ob die Versuchspersonen lediglich sensitiv für die unterschiedlichen Auftretenswahrscheinlichkeiten der einzelnen Stimuli oder Übergänge zwi-

schen zwei Stimuli werden (Shanks, Green & Kolodny, 1994), wie sie zum Beispiel in der von Nissen und Bullemer (1987) verwendeten Sequenz vorkommen. Jedoch konnten Reed und Johnson (1994) zeigen, dass die Versuchspersonen mehr lernen als diese Informationen. Sie konstruierten zwei verschiedene SOC-Sequenzen, die bis auf die Reihenfolge der Stimuli in allen Eigenschaften identisch waren. Nach einer Trainingsphase mit einer der beiden Sequenzen folgte eine Transferphase unter Verwendung der jeweils anderen SOC-Sequenz. Trotz der identischen Frequenzeigenschaften zeigte sich ein negativer Transfer in den Reaktionszeiten. Dies bedeutet, dass sich das erworbene Wissen nicht nur auf die Auftretenswahrscheinlichkeiten der einzelnen Stimuli beschränkt. Stattdessen kann vom Vorhandensein von Wissen über die zugrundeliegende Regularität ausgegangen werden.

Nach der Vorstellung drei der einflussreichsten Paradigmen im Forschungsbereich impliziten Lernens soll nun die Kritik an den bisher gefundenen Evidenzen für das Phänomen diskutiert werden und eine Reihe von Maßen zur Wissenserfassung im Rahmen der SRT anhand dieser Kritik evaluiert werden.

## 2. 4 Wissensmaße im Bereich impliziten Lernens

In einer einflussreichen Überblicksarbeit zum impliziten Lernen fassen Shanks und St. John (1994) die Evidenzen für ein separierbares implizites Lernsystem zusammen und kritisieren vor allem die verwendeten Maße in den Studien, die einen unabhängigen impliziten Lernmechanismus nahelegen. Da in der vorliegenden Arbeit eine Variation der SRT verwendet wurde, liegt das Augenmerk dieses Abschnitts auch auf Maßen, die im Rahmen dieses Paradigmas verwendet werden. Jedoch lassen sich die meisten der hier diskutierten Kritikpunkte auch auf die anderen beiden vorgestellten Paradigmen übertragen.

Wie bereits dargelegt, folgen die meisten Studien zum impliziten Lernen einer ähnlichen Dissoziationslogik, um implizites und explizites Lernen zu trennen. Indem man verschiedene Maße für implizite und explizite Lernprozesse verwendet, versucht

man einen Lerneffekt im impliziten Maß (z.B. Reaktionszeitverkürzungen in der SRT) aufzuzeigen, der aber nicht von einem Lerneffekt im expliziten Maß (z.B. verbaler Report) begleitet wird. Nutzt man dieses Vorgehen muss jedoch sicher gestellt sein, dass der explizite Test auch ausreichend sensitiv ist, um das vorhandene explizite Wissen nicht systematisch zu unterschätzen. Shanks und St. John (1994) schlagen daher zwei Kriterien vor, anhand derer die Güte der verwendeten Maße beurteilt werden kann.

Das Informationskriterium besagt, dass sichergestellt werden muss, dass der Test auf explizites Wissen wirklich das Wissen misst, welches während der Lernphase erworben wurde. Um dieses Problem zu verdeutlichen, können die Studien aus dem Bereich des Erwerbs künstlicher Grammatiken herangezogen werden. Reber (1967, 1969) nimmt an, dass die Probanden abstraktes Wissen über die Regeln der Grammatik erwerben. Jedoch lassen andere Studien den Schluss zu, dass lediglich einzelne Teile der präsentierten Buchstabenketten gelernt werden (Perruchet & Pacteau, 1990; Servan-Schreiber & Anderson, 1990). Wird nun in einer postexperimentellen Befragung ein verbaler Report über die dem Stimulusmaterial zugrundeliegende Regularität verlangt, muss sichergestellt sein, dass diese Befragung auch tatsächlich das Wissen erfasst, welches im Verlauf des Trainings erworben wird. Befragt man die Probanden über die komplexen Regeln der künstlichen Grammatik, obwohl sie lediglich einzelne Buchstabenketten oder Fragmente der Regularität lernen, ist das Informationskriterium nicht erfüllt und das explizite Wissen wird unterschätzt.

Das zweite von Shanks und St. John (1994) beschriebene Kriterium ist das Sensitivitätskriterium. Um das Ausmaß des erworbenen expliziten Wissens möglichst genau zu erfassen, muss der verwendete Test ausreichend sensitiv für diese Art des Wissens sein. Zur Erfüllung dieses Kriteriums bestehen zwei Möglichkeiten. Entweder erfasst der verwendete Test alle potentiell relevanten Anteile expliziten Wissens, ist also exhaustiv, oder er ist mindestens genauso sensitiv wie der verwendete Test auf implizites Wissen. Die erste Bedingung wird dabei wohl nur schwerlich zu erfüllen

sein (Reingold & Merikle, 1988). Die zweite mögliche Bedingung lässt sich hingegen durch ein Angleichen beider Tests hinsichtlich des Abrufkontexts erreichen. Idealerweise sollte der explizite Test die Probanden dazu veranlassen sämtliches vorhandenes explizites Wissen wiederzugeben und sich vom impliziten Test (also der inzidentellen Lernsituation) lediglich in der Art der Instruktion unterscheiden (Jiménez, Méndez & Cleeremans, 1996).

Die Relevanz beider Kriterien lässt sich am Beispiel einer Studie zum impliziten Sequenzlernen von Lewicki, Czyzewska und Hoffman (1987) aufzeigen. In ihrem Paradigma präsentierten die Autoren den Probanden Zielreize in vier verschiedenen Quadranten (1, 2, 3 und 4) auf einem Bildschirm. Die Aufgabe der Versuchspersonen war es jeweils die dem Quadranten zugeordnete Reaktionstaste schnellstmöglich zu drücken. Nach jeweils sechs dieser Durchgänge wurde die Stimuluspräsentation für einen Durchgang abgeändert. In diesem abgeänderten Durchgang (Suchdurchgang) wurde der Zielreiz zusammen mit Distraktoren dargeboten, welche über den Bildschirm verteilt waren. Auch hier war es die Aufgabe der Probanden, schnellstmöglich die richtige Reaktionstaste zu betätigen. Die Lokation der Zielreize in den Suchdurchgängen war jedoch nicht zufällig, sondern wurde durch eine SOC-Sequenz in der Lokation der Zielreize in den sechs vorangegangenen Durchgängen bestimmt, was den Probanden natürlich nicht bekannt war. Im Verlauf des Trainings zeigte sich eine Verkürzung der Reaktionszeiten in den Suchdurchgängen. Nach dem Training wurden die Probanden über die zugrundeliegende Regularität befragt, jedoch konnte keine der Versuchspersonen diese vollständig benennen. Daraus schlossen die Autoren, dass keiner der Probanden über explizites Wissen über die Sequenz verfügte.

In einer Analyse der verwendeten Sequenzen fanden Shanks und St. John (1994) jedoch heraus, dass eine vollständige explizite Repräsentation der Sequenz für eine Beschleunigung der Reaktionszeiten nicht zwingend erforderlich war. Beispielsweise war in der verwendeten SOC-Sequenz schon der letzte Durchgang vor dem Suchvorgang allein bezüglich der Lokation des Zielreizes im Suchdurchgang informativ.

Dies verletzt das Informationskriterium, da das von Lewicki, et al. (1987) verwendete Kriterium für explizites Wissen die vollständige Verbalisierung der Regularität war, während es in der Trainingsphase (impliziter Test) aber für eine Verkürzung der Reaktionszeit schon ausreichend war, implizites Wissen über einzelne Fragmente der Regularität zu erwerben. Ebenfalls kann nicht sichergestellt werden, dass das Sensitivitätskriterium in der vorgestellten Untersuchung erfüllt wurde. Im Rahmen der Trainingsphase stand den Probanden ein reichhaltiger Abrufkontext zur Verfügung, wie beispielsweise die Einteilung des Bildschirms in Quadranten, die präsentierten Zielreize sowie die jeweils aktuellen und kurz vorher getätigten motorischen Eingaben. Dieser Kontext fehlte jedoch beim anschließenden verbalen Report.

Eng verwoben mit den von Shanks und St. John (1994) vorgeschlagenen Kriterien ist die Exklusivität der verwendeten Maße zur Erfassung von explizitem und implizitem Wissen. Holender (1986) postuliert, dass jeder direkte (explizite) Test per Definition intentionales Verhalten erfasst. Diese Intentionalität ist nach Holender ein hinreichender Nachweis für die explizite Qualität des Verhaltens. Aus dieser Annahme ist abzuleiten, dass explizite Tests auch exklusiv nur explizites Wissen erfassen und nicht von impliziten Prozessen beeinflusst werden (Reingold & Merikle, 1988). Folgt man dieser Exklusivitätsannahme, ist es für den Nachweis der Abwesenheit expliziten Wissens ausreichend zu zeigen, dass ein direkter Test keinerlei Wissen detektiert. Dazu ist es jedoch zusätzlich nötig anzunehmen, dass ein direkter Test auch exhaustiv ist, da ansonsten eine fehlende Detektion auch auf eine unzureichende Sensitivität des Tests zurückgehen könnte. Es ist jedoch fraglich, wie man diese Prozessreinheit (Jacoby, 1991) und exhaustive Qualität expliziter Maße garantieren will. Aufgrund dieser Problematik schlagen Reingold und Merikle (1988) stattdessen vor die relative Sensitivität der verwendeten Maße zu betrachten. Hierbei wird angenommen, dass direkte und indirekte (implizite) Tests jeweils sowohl explizites als auch implizites Wissen erfassen. Da ein direkter Test konkret auf die Lernepisode verweist und zur Nutzung des expliziten Wissens auffordert, sollte hier mehr explizites Wissen detektiert werden als in einem indirekten Test, da ein indirekter Test dadurch gekenn-



zeichnet ist, dass er eben nicht zur Nutzung des in der Lernepisode gewonnen Wissens auffordert. Nach diesem Ansatz kann das Vorhandensein impliziten Wissens angenommen werden, wenn ein indirekter Test mehr Wissen detektiert als ein direkter Test. Dazu ist es allerdings zwingend erforderlich, dass beide Tests hinsichtlich des Abrufkontexts und der Aufgabenanforderungen möglichst vergleichbar sind (Jiménez et al., 1996).

Stadler (1997) unterscheidet zusätzlich zwischen objektiven und subjektiven Maßen zur Wissenserfassung. Objektive Maße zeichnen sich dadurch aus, dass sie eine Forced-choice-Entscheidung verlangen. Antworten die Probanden hierbei besser als nach Zufall zu erwarten wäre, wird explizites Wissen angenommen. Subjektive Maße erfordern hingegen eine Einschätzung der Probanden über ihre Leistung in einem objektiven Maß. Um diese Trennung zu illustrieren, können Rekognitionstests und Konfidenzurteile herangezogen werden. Im Rekognitionstest sollen beispielsweise Buchstabenketten dahingehend beurteilt werden, ob sie mithilfe einer künstlichen Grammatik erstellt wurden oder nicht. Zusätzlich könnte ein Konfidenzurteil über die subjektive Sicherheit der Versuchspersonen genutzt werden.

Die Ansichten darüber, welche Art von Maß am geeignetsten ist, explizites Wissen zu erfassen und explizites und implizites Wissen voneinander zu trennen, divergieren stark und sind besonders davon abhängig, welche Vorstellung von Bewusstsein vorherrscht. Stadler (1997) schlägt vor, wenn möglich beide Arten von Maßen zu verwenden. Dieses Vorgehen erscheint besonders vor dem Hintergrund der sog. Higher-Order-Thought-Theorien (HOT-Theorien, siehe z.B. Dienes, Altmann, Kwan & Goode (1995), Dienes & Berry (1997), Dienes & Perner (1999) und Dienes & Scott (2005)) sinnvoll. Im Rahmen dieser Theorien wird angenommen, dass sich Bewusstsein über eine Information nicht nur über die Verwendbarkeit dieser Information in einem Maß zur Wissenserfassung (z.B. einem Rekognitionstest) auszeichnet, sondern sich die betreffende Person zusätzlich darüber bewusst ist, dass sie über die Information verfügt. Dienes und Perner (1996, S. 231) nehmen daher an, dass „if subjects per-

form well on various indirect and direct tests, one may still want to regard the knowledge as unconscious if subjects do not know that they know it; that is, if they lack metaknowledge.“ Eine Metakognition über die Information ist für die Autoren eine notwendige Bedingung für die explizite Verfügbarkeit der Information. Für eine genauere Betrachtung der HOT-Theorien sei hier auf Abschnitt 3.2.2 verwiesen.

Um dem Problem der Metakognition Rechnung zu tragen, beschreiben Dienes und Berry (1997) zwei Kriterien zur Erfassung und Trennung von explizitem und implizitem Wissen. Nach dem Ratekriterium ist Wissen dann implizit, wenn die Leistung in einem Test zwar überzufällig gut ist, aber gleichzeitig das Gefühl vorherrscht die Leistung käme durch Raten zustande und lasse sich nicht auf die Nutzung erworbenen Wissens zurückführen. Nach dem Null-Korrelations-Kriterium ist Wissen dann implizit, wenn die objektive Leistung in einem Test nicht mit der subjektiven Einschätzung dieser Leistung zusammenhängt. Ist das Wissen hingegen explizit, ist eine positive Korrelation von Leistung und Einschätzung dieser Leistung zu erwarten, da die betreffende Person sich der Richtigkeit ihrer Reaktionen bewusst ist. Sie verfügt in diesem Fall über eine Metakognition über ihr vorhandenes Wissen. Nach der Vorstellung dieser Kriterien sollen nun einige gängige Maße zur Erfassung expliziten Wissens im Rahmen der SRT vorgestellt und anhand der Kriterien evaluiert werden.

Nissen und Bullemer (1987, Exp. 1) befragten im Anschluss an die SRT ihre Probanden über die verwendete Sequenz und stellten fest, dass keine der Versuchspersonen diese verbal wiedergeben konnte, obwohl nahezu alle Probanden angaben eine Sequenz bemerkt zu haben. Daraus schlossen die Autoren, dass die Probanden nicht über explizites Wissen über die Sequenz verfügten. Wie bereits am Beispiel der vorgestellten Studie von Lewicki et al. (1987) erläutert, ist es jedoch wahrscheinlich, dass mit dieser Methode das Informationskriterium verletzt wird, da es für eine Beschleunigung der Reaktionszeiten nicht erforderlich ist, die gesamte Sequenz explizit zu repräsentieren. In anderen Studien, die den verbalen Report als Maß verwendeten, wurde diesem Problem durch eine zunehmende Spezifizierung der Fragen nach der

Sequenz Rechnung getragen (Frensch et al., 2003; Haider & Frensch, 2005; Rünger & Frensch, 2008; Willingham et al., 1989). Zuletzt wurden die Probanden über die Existenz der Sequenz informiert und aufgefordert diese zu benennen. Dabei wurde geprüft, wie viele korrekte Übergänge der Sequenz von den Probanden benannt werden konnten. So kann auch explizites Teilwissen erfasst werden. Jedoch lässt sich die mangelnde Sensitivität des verbalen Reports auch so nicht umgehen. Die Testsituation des verbalen Reports unterscheidet sich hinsichtlich des Abrufkontextes von der Situation während des Trainings. Es fehlen nahezu alle Abrufreize aus der Trainingsphase und es ist damit anzunehmen, dass das explizite Wissen bei der Verwendung des verbalen Reports massiv unterschätzt wird. Erschwerend kommt hinzu, dass die Fähigkeit zur Introspektion und damit auch die Fähigkeit zur verbalen Wiedergabe interindividuell stark variiert und so eine zusätzliche Unterschätzung des expliziten Wissens nicht ausgeschlossen werden kann (Ericsson & Simon, 1980; Hannula, Simons & Cohen, 2005).

Eine Alternative zum verbalen Report bilden forced-choice Maße wie die Generierungsaufgabe und Rekognitionsaufgaben. In der Generierungsaufgabe (Nissen & Bullemer, 1987) sollen die Probanden eine Vorhersage über den jeweils nächsten Stimulus mittels der Reaktionstasten vornehmen. Divergieren hierbei Performanzvorteile in der SRT und die Vorhersageleistung in der Generierungsaufgabe, wird vom Vorhandensein impliziten Wissens ausgegangen. Dieses Vorgehen bietet Vorteile in Bezug auf die von Shanks und St. John (1994) vorgeschlagenen Kriterien. Impliziter und expliziter Test sind hinsichtlich des Abrufkontextes und der zu vollfuhrenden Aufgabe vergleichbar. Die Gefahr einer systematischen Unterschätzung des expliziten Wissens wird dadurch minimiert. Jedoch ist unklar, inwiefern die Leistung in der Generierungsaufgabe von implizitem Wissen beeinflusst wird (Jiménez et al., 1996). Perruchet und Amorin (1992) kritisieren die ursprüngliche Form der Generierungsaufgabe (z.B. Willingham et al. (1989); Nissen & Bullemer (1987, Exp. 2)), da die Probanden weder über die Existenz der Sequenz aufgeklärt noch dazu aufgefordert wurden ihr in der Trainingsphase erworbenes Wissen anzu-

wenden. Wie bereits diskutiert, ist es mit diesem Vorgehen fraglich, ob die Generierungsaufgabe in dieser Form überhaupt als direkter Test zu werten ist, oder maßgeblich durch implizites Wissen kontaminiert wird (Gaillard, Vandenberghe, Destrebecqz & Cleeremans, 2006; Jiménez et al., 1996). Jedoch zeigten einige Untersuchungen, dass die explizite Erwähnung der Sequenz keinen maßgeblichen Einfluss auf das Ausmaß des detektierten Wissens hat (Buchner, Steffens, Erdfelder & Rothkegel, 1997; Cohen et al., 1990; Frensch et al., 1994; Frensch & Miner, 1994).

Ein bedeutenderes Problem stellt die Art des verwendeten Feedbacks im Rahmen der Generierungsaufgabe dar. In den frühen Studien, die die Generierungsaufgabe verwendeten, endete die Präsentation des vorangegangenen Stimulus erst, wenn die Probanden eine korrekte Vorhersage für den nächsten Reiz tätigten. Dies lieferte den Probanden eine direkte Rückmeldung über ihre Leistung und machte es wahrscheinlich, dass zusätzliches Wissen über die Sequenz im Verlauf der Generierungsaufgabe erworben wurde. Im Nachhinein kann dann nicht mehr unterschieden werden, inwiefern die Prädiktionsleistung von Wissen aus dem Training oder von zusätzlichen Lerneffekten aus der Generierungsaufgabe beeinflusst wird. Andere Autoren verwendeten daher eine Variante ohne jedwedes Feedback, die sog. freie Generierungsaufgabe (Perruchet & Amorim, 1992). Jedoch sinkt dadurch die Ähnlichkeit zwischen Training und Test. Während der SRT ist es den Probanden jederzeit möglich die Korrektheit ihrer Antizipationen durch Beobachtung der folgenden Stimuli zu evaluieren und somit eine Rückmeldung über ihre Leistung zu erhalten. Diese Rückmeldung fehlt jedoch in der freien Generierungsaufgabe völlig (Jiménez et al., 1996). Einen Mittelweg zwischen den beiden Methoden stellt die kontinuierliche Form der Generierungsaufgabe dar. Hierbei erscheint der nächste Stimulus unabhängig von der Korrektheit der Vorhersage der Versuchsperson, was dem Geschehen in der SRT entspricht. Um mögliche Lerneffekte in der Generierungsaufgabe zu minimieren sollte die Aufgabe jedoch nur wenige Durchgänge umfassen (Cohen et al., 1990). Es wird deutlich, dass die Art des verwendeten Feedbacks eine Gratwanderung zwischen

Vergleichbarkeit von Training und Test und einer möglichen Kontamination durch zusätzliche Lerneffekte darstellt.

Mit ähnlichen Problemen haben auch Rekognitionsaufgaben zu kämpfen, welche häufig in der Gedächtnisforschung Verwendung finden. Bei diesen Aufgaben soll zwischen Exemplaren des gelernten Materials und Distraktoren unterschieden werden, indem gelerntes Material als „alt“ und Distraktoren als „neu“ klassifiziert werden. Bei der Verwendung solcher Aufgaben als Wissensmaß in der SRT soll zwischen regelhaften und nicht regelhaften Sequenzen unterschieden werden. Dazu werden entweder kurze Teilstücke der Sequenz (Perruchet & Amorim, 1992; Reed & Johnson, 1994) oder Stimuli mit der Länge der gesamten Sequenz (Willingham et al., 1993) verwendet. Um das Wissen bei Probanden mit explizitem Teilwissen über die Sequenz nicht zu unterschätzen, sollte letzteres Vorgehen gewählt werden. Bei der Verwendung von (zu) kurzen Sequenzfragmenten besteht die Gefahr, dass das zu beurteilende Fragment nicht mit der Repräsentation der Versuchspersonen übereinstimmt (Buchner et al., 1997). Eine mögliche signifikante Kontamination durch implizites Wissen kann, ähnlich wie bei der Generierungsaufgabe, auch bei Rekognitionsaufgaben nicht ausgeschlossen werden. Besonders Einflüsse von Vertrautheit mit dem regelhaftem Sequenzmaterial sind möglich (Buchner et al., 1997; Buchner, Steffens & Rothkegel, 1998; Gaillard et al., 2006). Verglichen mit der Generierungsaufgabe entspricht die Rekognitionsaufgabe zudem dem Sensitivitätskriterium in geringerem Maße, da sich die Art der Reaktion von der geforderten Eingabe während des Trainings unterscheidet und sich damit die erforderliche Ähnlichkeit zwischen SRT und Wissensmaß verringert (Jiménez et al., 1996).

Eine Möglichkeit der Optimierung von forced-choice Maßen bietet die Prozessdissoziationsprozedur (Jacoby, 1991). Mithilfe dieser Methode ist es möglich die Anteile expliziten und impliziten Wissens an einer Aufgabenleistung zu bestimmen. Im Rahmen des SRT-Paradigmas handelt es sich bei diesem Verfahren im Wesentlichen um eine Variation der Generierungsaufgabe (Destrebecqz & Cleeremans, 2001;

Haider, Eichler & Lange, in press). Jedoch lässt sich auch die Rekognitionsaufgabe mittels dieser Prozedur verbessern (Buchner et al., 1997). Der Unterschied zur normalen Generierungsaufgabe besteht lediglich in den Instruktionen. In der Inklusionsbedingung ist es die Aufgabe der Versuchsperson die Sequenz aus dem SRT-Training so korrekt wie möglich zu reproduzieren. In der Exklusionsbedingung hingegen soll diese Sequenz gerade nicht reproduziert werden. In der Exklusionsbedingung stellt die Reproduktion von Übergängen, die der Sequenz entsprechen, einen Fehler dar (Intrusionsfehler). Ein hoher Anteil von Intrusionsfehlern gibt in diesem Verfahren Hinweise darauf, dass das vorhandene Wissen größtenteils implizit ist, weil es nicht der bewussten Kontrolle unterliegt. Eine gute Leistung in der Inklusionsbedingung gekoppelt mit wenigen Intrusionsfehlern in der Exklusionsbedingung spricht dagegen für einen großen Anteil expliziten Wissens. Aus der Differenz der der Sequenz entsprechenden Übergänge in der Exklusions- und Inklusionsbedingung lassen sich also die Anteile von explizitem und implizitem Wissen schätzen. Neben dieser Verbesserung besteht der Reiz der Prozessdissoziationsprozedur in der hohen Vergleichbarkeit zwischen implizitem und explizitem Test, da sich beide Tests lediglich in der Art der Instruktion unterscheiden und damit dem Informationskriterium im besonderen Maße gerecht werden.

Ein relativ neues Verfahren zur Wissenserfassung im SRT-Paradigma ist die sogenannte Wettaufgabe (Persaud & McLeod, 2008; Persaud, McLeod & Cowey, 2007, 2008; Seth, 2008). Dieses Verfahren verbindet die (objektive) Generierungsaufgabe mit subjektiven Konfidenzurteilen in Form von Wetteinsätzen. Haider und Kollegen (Haider et al., in press) setzten die Wettaufgabe als Wissensmaß im Anschluss an eine SRT ein. Die Aufgabe ähnelte der absolvierten SRT mit dem Unterschied, dass die Präsentation der Stimuli in unregelmäßigen Abständen unterbrochen und anstelle einer normalen Reaktion eine Vorhersage für den nächsten Stimulus von den Probanden verlangt wurde. Direkt nach der Vorhersage sollten die Versuchspersonen entweder einen hohen oder einen niedrigen Betrag von einem Spielkonto einsetzen. Da der Endbetrag auf dem Spielkonto an die Probanden ausgezahlt wurde, war es

den Versuchspersonen mithilfe korrekter Vorhersagen möglich ihren Gewinn zu steigern. Dies ist ein Vorteil gegenüber herkömmlichen Konfidenzurteilen, da die Möglichkeit zur Gewinnmaximierung einen erhöhten Anreiz für die Nutzung des eventuell vorhandenen expliziten Wissens liefert (Persaud & McLeod, 2008; Persaud et al., 2007). Darüber hinaus ähnelt der Abrufkontext bei dieser Methode dem vorangegangenen SRT-Training und bietet damit ähnliche Vorteile wie die Generierungsaufgabe. Dies ist im Sinne des Sensitivitätskriteriums als positiv zu werten.

Ferner lässt sich mit diesem Verfahren auch eine Aussage darüber tätigen, inwiefern eine Versuchsperson über explizites bzw. implizites Wissen verfügt. Im Sinne des Null-Korrelations-Kriteriums ist das Wissen dann als implizit anzusehen, wenn die Prädiktionsperformanz nicht mit einer Gewinnmaximierung einhergeht. Zeigt ein Proband in dieser Aufgabe eine erhöhte Vorhersageleistung, nutzt dieses Wissen aber nicht um seinen Gewinn zu maximieren (setzt also nicht vermehrt hohe Geldbeträge), kann angenommen werden, dass sein Wissen implizit ist. Korrelieren hingegen Korrektheit der Vorhersage und Höhe der Wetteinsätze positiv miteinander kann auf das Vorhandensein expliziten Wissens geschlossen werden. Jedoch ist auch dieses Maß nicht frei von Problemen. Ähnlich wie bei der Verwendung der Generierungsaufgabe muss besonderes Augenmerk auf das Feedback und potentielle Lerneffekte im Rahmen der Wettaufgabe gelegt werden. Durch die hohe Ähnlichkeit zwischen Wettaufgabe und SRT sind Lerneffekte während der Wettaufgabe zu erwarten. Dies gilt besonders dann, wenn die Probanden im Verlauf der Aufgabe eine Rückmeldung über ihren Leistungsstand erhalten (z.B. in Form ihres „Kontostandes“), da die Möglichkeit zur Gewinnmaximierung die Probanden im besonderen Maße motivieren dürfte. Haider und Kollegen (in press) verzichteten daher auf Feedback auf einer trial-by-trial Basis und gaben nur eine intermittierende Rückmeldung über den Kontostand zwischen den Aufgabenblöcken. Nichts desto trotz dürfen nicht zu viele Durchgänge der Wettaufgabe durchgeführt werden, um eine Kontamination durch zusätzliche Lerneffekte in der Wettaufgabe möglichst zu minimieren.

Wie sich im Verlauf dieses Kapitels gezeigt hat, bieten nahezu alle Wissensmaße spezifische Vorteile, haben aber gleichzeitig auch mit Nachteilen zu kämpfen. Die Wahl des zu verwendenden Verfahrens hängt damit auch von der Fragestellung der Untersuchung ab. Will man beispielsweise explizites Wissen in „Reinform“ erfassen kann auch der verbale Report geeignet sein, da hier die Gefahr einer Überschätzung des expliziten Wissens, bedingt durch die geringe Sensitivität, gering ist. Zielt die Fragestellung jedoch eher auf implizite Lernprozesse per se ab, bieten sich sensitivere Maße an. Ein weiterer einflussreicher Faktor bei der Wahl des Verfahrens ist die vorherrschende Vorstellung von Bewusstsein und der Natur menschlicher Lernmechanismen. Im folgenden Kapitel sollen daher verschiedene Anschauungen zu Bewusstsein und dessen Entstehung sowie deren Auswirkungen auf die Annahmen bezüglich der Natur eines impliziten Lernmechanismus vorgestellt und diskutiert werden.



### 3. Bewusstsein und implizites Lernen

Nach Boyer, Destrebecqz und Cleeremans (2005, S. 383) kann man die Forschung zum impliziten Lernen als die Suche nach Fällen beschrieben werden, „where there are demonstrable changes in neural activity or in behavior without concomitant changes in subjective experience“. Nach dieser Definition ist der Gegenstand der Forschung zum impliziten Lernen die Untersuchung von Veränderungen auf neuronaler oder behavioraler Ebene, die nicht mit einer subjektiven Erfahrung einhergehen. Dieses Fehlen der subjektiven Erfahrung ist hier mit dem Fehlen von Bewusstsein gleichzusetzen. Jedoch merken auch Boyer et al. an, dass eben diese enge Verbindung zwischen implizitem Lernen und Bewusstsein das größte Problem für diesen Forschungsbereich ist. Der Ursprung der problematischen Qualität dieser Verbindung liegt in den stark voneinander abweichenden und sich oft gegenseitig ausschließenden theoretischen Positionen zum Bewusstsein und dessen Entstehung. Es ist daher an dieser Stelle sinnvoll, diese Positionen kurz gegenüber zu stellen, um ihre Konsequenzen für die Untersuchung von impliziten Lernprozessen näher zu beleuchten.

#### 3.1 Bewusstsein und Qualia

Die Schwierigkeiten im Umgang mit Bewusstsein als Forschungsgegenstand beginnen bereits bei der Suche nach einer wissenschaftlich anerkannten Definition. Eine solche Definition stellt allerdings eine notwendige Bedingung für die sinnvolle Bearbeitung einer Fragestellung dar. Auf den ersten Blick mag dies erstaunlich sein, schließlich erleben wir alle tagtäglich Bewusstsein auf subjektive Weise und jeder hat wahrscheinlich eine grobe Idee davon, was Bewusstsein ist. Jedoch ist genau dieses subjektive Erleben ein zentrales Problem bei der Suche nach einer Definition von Bewusstsein (Crick & Koch, 1998). Die Schwierigkeit besteht darin die subjektiv erlebte Qualität (First-person-perspective, Dietrich, 2007, S. 10) mit objektiven Daten (Third-person-perspektive, Dietrich, 2007, S. 11), wie in der empirischen Forschung üb-

lich, zu untersuchen und zu beschreiben. Dabei stellen einige Autoren die Eignung von objektiven Daten für die Untersuchung von Bewusstsein generell infrage, indem sie argumentieren, dass man mithilfe dieser Daten die subjektiv erlebte Qualität des Bewusstseins nicht erfassen kann, obwohl ihrer Ansicht nach gerade diese subjektive Qualität das ist, was Bewusstsein ausmacht (Chalmers, 1995a, 1995b; Searle, 1997; Velmans, 1991). Dieses besondere Merkmal von Bewusstsein wird auch als Qualia (z.B. Nagel, 1974) bezeichnet. Qualia beschreibt die subjektiv empfundenen Erfahrungseindrücke, die mit Wahrnehmungs- und Denkprozessen einhergehen. Am einfachsten nachvollziehbar wird dies vielleicht am Beispiel von Wahrnehmungseindrücken:

„So, colors and sounds are not inherent features of the physical world; they are mental properties that exist as a result of us experiencing certain forms of energy. A tree falling in the forest makes no sound if no one is there to hear it. It makes a pressure wave travelling at 700 miles per hour; sounds are made in the brain of the observer. When they are conscious, those perceptions have a certain feel to them.“ (Dietrich, 2007, S. 16)

Das von Dietrich beschriebene Gefühl, welches mit Wahrnehmungen einhergeht, zeichnet sich dadurch aus, dass die subjektive Qualität dieses Gefühls nicht exakt beschrieben werden kann. Es kann mittels objektiver Daten nicht überprüft werden, ob die Erfahrung der „Rotheit“ bei der Wahrnehmung eines roten Lichts für zwei Personen identisch ist (Crick & Koch, 1990). Um die „Rotheit“ zu begreifen, die von einer Person wahrgenommen und erfahren wird, muss man diese Person selbst sein. Die First-person-perspective ist also die notwendige Bedingung für die Untersuchung von Qualia. Die verschiedenen Positionen innerhalb der theoretischen Landschaft des Bewusstseins unterscheiden sich vor allem in ihrer Betrachtungsweise von Qualia und deren Bedeutung. Deutlich wird dies an einem Gedankenexperiment von Jackson (1982). In diesem Gedankenexperiment wird Mary, eine angehende Neurowissenschaftlerin, die sich mit Farbwahrnehmung beschäftigt, in einer vollständig mo-

nochromatischen Welt aufgezogen. Ihre Haut und ihr Haar werden gebleicht und sie verfügt über keinerlei Verbindung zur Außenwelt außer einem Schwarz-Weiß-Fernseher. Nach einigen Jahren des Studiums weiß sie alles, was es über Farben zu wissen gibt, und wird in die Welt entlassen, wo sie dann zum ersten Mal Farben sieht. Die kritische Frage ist nun, ob Mary etwas neues über Farben lernen wird (und wenn ja, was), wenn sie die Außenwelt betritt, oder nicht. Dies ist gleichbedeutend mit der Frage nach der Rolle der Qualia.

In der dualistischen Sichtweise gibt es einen qualitativen Unterschied zwischen der materiellen Welt und dem Bewusstsein. Während die physische Umwelt und auch der menschliche Körper den Naturgesetzen unterworfen sind und daher auch mit objektiven Methoden untersucht werden können, gilt dies nicht für Bewusstsein, da Bewusstsein kein Bestandteil der physischen Welt ist bzw. andere Eigenschaften als die materielle Welt aufweist. Qualia sind hierbei eines der Hauptargumente dualistischer Theorien für die besondere Beschaffenheit des Bewusstseins und dessen Verschiedenheit von der materiellen Welt (Dietrich, 2007). Die Untersuchung von Bewusstsein mittels objektiver Verfahren kann daher langfristig nicht erfolgreich sein, da sie die Qualia nicht erfassen können. Als ein Vertreter der dualistischen Position unterteilt Chalmers (1995a) die wissenschaftlichen Probleme und Fragestellungen im Kontext des Bewusstseins in zwei Kategorien: Leicht und schwer. Leichte Probleme sind dabei z.B. Aufmerksamkeitskontrolle, Handlungssteuerung und die Zugänglichkeit von internen Zuständen. Diese Probleme haben gemein, dass sie mit den Mitteln der Wissenschaft untersucht werden können, auch wenn ihre vollständige Klärung noch Jahrhunderte dauern mag. Es ist prinzipiell möglich diese Fragestellungen mit objektiven Methoden zu bearbeiten. Diese Möglichkeit liegt in der funktionalen Definierbarkeit dieser Phänomene begründet. Nach Chalmers handelt es sich bei den leichten Problemen um Fähigkeiten des kognitiven Systems. Um diese zu erklären braucht es lediglich ein Modell zur Wirkweise des kognitiven Systems, welches die Funktion des Phänomens beschreibt und erklärt:

“To explain learning, we need to explain the way in which a system's behavioral capacities are modified in light of environmental information, and the way in which new information can be brought to bear in adapting a system's actions to its environment. If we show how a neural or computational mechanism does the job, we have explained learning.” (Chalmers, 1995a, S. 204)

Dies gilt jedoch nicht für das schwere Problem, welches die Qualia darstellt. Nach Chalmers wird es der objektiven Wissenschaft nicht gelingen zu erklären, wie es zur Entstehung von Erfahrungseindrücken aufgrund von Wahrnehmungen, Denkprozessen oder Emotionen kommt, weil eine funktionale Erklärung dafür nicht ausreicht. Selbst wenn alle Fähigkeiten des kognitiven Systems funktional erklärbar wären, wäre damit nicht geklärt, warum diese Fähigkeiten mit Erfahrung einhergehen und wie diese entsteht. Dieses Problem wird von Levine (1983, S. 78) als „explanatory gap“ bezeichnet. Bezüglich der Überbrückbarkeit dieser Lücke herrschen verschiedene Positionen vor. Wie bereits erwähnt, ergibt sich aus der besonderen Stellung von Qualia innerhalb dualistischer Theorien gepaart mit der angenommenen besonderen subjektiven Natur dieses Phänomens, dass einige Vertreter die Lücke als unüberbrückbar für die objektiven Methoden der Wissenschaft bezeichnen (Searle, 1997; Velmans, 1991, 2009). Als Konsequenz daraus entzieht sich Bewusstsein generell dem Zugriff der Wissenschaft.

Dennett (1988, 1991, 1996a, 1996b) kritisiert diese Haltung als vorzeitiges Aufgeben und vertritt die Auffassung, dass die Vorstellung eines schweren Problems eine Illusion ist, welche mit dem fortschreitenden Verständnis der leichten Probleme verschwinden wird. Im Wesentlichen lässt sich seiner Meinung nach das schwere Problem als eine Ansammlung der leichten Probleme begreifen. Sind alle leichten Probleme verstanden worden und erklärbar, ist Bewusstsein insgesamt verstanden worden und erklärbar. In dieser materialistischen Sichtweise unterscheiden sich Bewusstsein und physische Welt nicht voneinander. Es gibt keinen Grund Bewusstsein nicht mit den gleichen Mitteln zu untersuchen, mit denen auch andere naturwissenschaft-

liche Phänomene bearbeitet werden, da Bewusstsein identisch mit neuronaler Aktivität ist (P. M. Churchland, 1996; P. S. Churchland, 1996). Qualia haben in dieser Sichtweise keine besondere Position oder für die Wissenschaft nicht erklärbare Eigenschaften. Dabei wird nicht geleugnet, dass Wahrnehmungen und Denkprozesse mit subjektiver Erfahrung einhergehen, sondern dass das Konzept der Qualia als zusätzliche Information benötigt wird, um Bewusstsein zu beschreiben (Dennett, 1988). Innerhalb der materialistischen Theorienlandschaft werden Qualia daher oft als das Ergebnis irreführender intuitiver Annahmen über das Bewusstsein (Dennett, 1991, 1996b) angesehen, die einem Fortschritt in der Bewusstseinsforschung im Weg stehen und daher abgelegt werden müssen (P. S. Churchland, 1996). Dietrich (2007, S. 12) fasst den theoretischen Disput über Qualia und ihre Bedeutung in Anlehnung an Dennett (1991) folgendermaßen zusammen:

„Dennett divides the major players of this battle into A and B teams. Team A takes a no-nonsense, scientific approach and demands from team B a positive, independent characterization of the first-person mode of consciousness. Extraordinary claims require extraordinary evidence! Team B takes it as a manifest fact that experience has an ineffable, subjective quality and so embraces the bipartite nature of the universe. It demands from team A a clear evidence about how the mind can be nothing but a 3-pound pile of electrified biochemistry. Extraordinary claims require extraordinary evidence!“

Diese Metapher von zwei rivalisierenden Sportmannschaften macht deutlich, wie schwierig die Suche nach einer anerkannten Bewusstseinsdefinition ist. Vom Standpunkt empirischer Forschung gesehen sind materialistische Theorien sicherlich interessanter, da sie von der Erforschbarkeit des Bewusstseins mittels empirischer Methoden ausgehen. So ist es nicht verwunderlich, dass sich eine wachsende Anzahl von Arbeiten mit der Suche nach den neuronalen Korrelaten von Bewusstsein auseinandersetzt. Crick und Koch (1990, 1992, 1995, 1998) verfolgen dabei einen pragmatischen Ansatz, indem sie das theoretische Problem der Qualia beiseitelassen und sich

zunächst mit den neuronalen Grundlagen von Bewusstsein auseinandersetzen. Konkret geht es dabei um die Frage, was diejenigen neuronalen Prozesse, welche mit Bewusstsein einhergehen, von solchen unterscheidet, die dies nicht tun (Crick & Koch, 1998). Vergleicht man diese Fragestellung mit derjenigen von Boyer et al. (2005) vom Anfang dieses Abschnitts, wird erkennbar, wie zentral die Frage nach der Entstehung von Bewusstsein für die Forschung zum impliziten Lernen ist. Daher sollen im folgenden Abschnitt einige Theorien zur Entstehung von Bewusstsein vorgestellt werden. Für eine weiterführende und ausführliche Darstellung der Rolle der Qualia und die verschiedenen theoretischen Positionen sei an dieser Stelle an Blackmoore (2005) und Dietrich (2007) verwiesen.

### 3. 2 Entstehung von Bewusstsein

Mithilfe technologischer Weiterentwicklung im Bereich der bildgebenden Verfahren und physiologischen Messmethoden wie fMRT und EEG hat die empirische Erforschung des Bewusstseins und seiner Entstehung in den letzten Jahrzehnten beachtliche Fortschritte erzielt. Wie bereits im letzten Abschnitt erwähnt, ist eine zentrale Aufgabe dabei die Suche nach den neuronalen Korrelaten von Bewusstsein (Crick & Koch, 1998). Jedoch ist diese Aufgabe auch mit modernen technischen Mitteln keineswegs leicht. Die verschiedenen Aspekte von Bewusstsein wie beispielsweise Wahrnehmung und Aufmerksamkeit werden mit einer Vielzahl von Strukturen im Gehirn assoziiert. Allein die visuelle Wahrnehmung involviert eine Vielzahl von Arealen im Neokortex sowie im Thalamus (z. B. Goldstein, 2001). Es erscheint daher unwahrscheinlich, dass ein einzelnes Hirnareal für die Entstehung von Bewusstsein verantwortlich ist (Crick & Koch, 1990; Kanwisher, 2001). Besonders deutlich lässt sich dies am sogenannten Bindungsproblem illustrieren. Dieser Begriff wird häufig in der Wahrnehmungspsychologie verwendet und beschreibt den Umstand, dass visuelle Wahrnehmung zwar in einer Reihe von auf unterschiedliche Aspekte eines Reizes (z.B. Farbe, Form und Lokation) spezialisierten Modulen im Gehirn verarbeitet

wird, der Wahrnehmungseindruck jedoch als kohärentes Bild erlebt wird. Diese parallele Verarbeitung in räumlich voneinander getrennten Arealen wirft die Frage danach auf, wo und wie diese Kohärenz entsteht. Die Frage nach der Integration einzelner Informationen zu einem kohärenten Ganzen lässt sich auf das Bewusstsein allgemein erweitern, da subjektive Erfahrung insgesamt ein kohärentes Phänomen ist (Engel, Fries, König, Brecht & Singer, 1999; Engel & Singer, 2001). Diese Kohärenz lässt sich auf neuronaler Ebene in Form von räumlich getrennten, aber synchron feuernenden, Neuronen finden (Crick & Koch, 1990; Engel et al., 1999; Engel & Singer, 2001; Gray, 1999; Gray, König, Engel & Singer, 1989; von der Marlsburg, 1986, 1999). Die Feuerungsrate liegt hierbei bei ungefähr 40Hz, was einer Aktivierung im  $\gamma$ -Band des EEG entspricht. Diese Aktivierungsart wird mit aktiver Informationsverarbeitung assoziiert (Dietrich, 2007). Jedoch ist unklar, welche Rolle diese 40Hz-Oszillationen bei der Entstehung von Bewusstsein spielen. Während einige frühere Arbeiten diese Oszillationen mit den neuronalen Korrelaten des Bewusstseins gleichsetzen (Crick & Koch, 1990), werden die Oszillationen heute lediglich als eine notwendige Bedingung für die Entstehung von Bewusstsein angesehen (Crick & Koch, 2003; Engel & Singer, 2001; Tononi & Edelman, 1998).

Die Idee von Synchronizität bzw. neuronaler Kohärenz als entscheidender Faktor für das Entstehen von Bewusstsein lässt sich auf systemischer Ebene auch in einer der einflussreichsten Theorien in diesem Bereich wiederfinden, der Global Workspace Theory (Baars, 1988, 1996, 1997, 2003). Im Rahmen dieser Theorie wird ein virtueller Raum im kognitiven System angenommen, welcher für die Verbreitung von Informationen im gesamten System verantwortlich ist. Der Grund für diese Annahme besteht in dem ansonsten enkapsulierten modularen Aufbau unseres Gehirns (Fodor, 1983). Obwohl die einzelnen spezialisierten Module ständig parallel arbeiten und eine Unmenge an Informationen beinhalten, erreichen nur wenige dieser Informationen unser Bewusstsein mit seiner sehr beschränkten Kapazität. Die Arbeit dieser Module kann daher als ständiger Konkurrenzkampf der einzelnen Module um den Einzug ins Bewusstsein beschrieben werden. Eine gebräuchliche Metapher für die

Beschreibung der Global Workspace Theory ist die eines Theaters. Dabei entspricht die Bühne dem Arbeitsgedächtnis und der von einem Scheinwerfer beleuchtete Teil der Bühne dem Global Workspace, dessen Inhalte dem ansonsten abgedunkelten Zuschauerbereich (den Modulen) vorgeführt werden (Baars, 1997). Gelingt es also einem der Module seinen Inhalt in den Global Workspace zu überführen, wird dieser Inhalt dem gesamten System zugänglich. Diese globale Zugänglichkeit stellt die Verknüpfung der einzelnen Module dar und ist die notwendige Bedingung für die Entstehung von Bewusstsein (Baars, 1988).

Baars (1988) nimmt als den entscheidenden Faktor für den Eintritt in den Global Workspace die Aktivationsstärke der Repräsentation an. Im Konkurrenzkampf der enkapsulierten Module erhält diejenige Repräsentation durch die globale Zugänglichkeit Einzug ins Bewusstsein, welche in Relation zu den anderen über die stärkste Aktivierung verfügt. Der Unterschied zwischen bewussten und unbewussten Inhalten ist damit rein quantitativer Natur, da er auf einem rein datengetriebenen Verstärkungsprozess beruht (siehe auch Abschnitt 3.2.1). Kanwisher (2001) greift dies als Kritikpunkt auf, da in der ursprünglichen Version der Global Workspace Theory der Rolle von Top-down Prozessen, wie selektiver Aufmerksamkeit, bei der Entstehung von Bewusstsein kaum Beachtung geschenkt wird, obwohl einige Evidenzen einen engen Zusammenhang dieser beiden Konzepte nahelegen (siehe auch Dehaene und Naccache (2001) für einen Überblick). In einer Erweiterung der ursprünglichen Theorie tragen Dehaene und Kollegen (Dehaene & Changeux, 2003; Dehaene, Changeux, Naccache, Sackur & Sergent, 2006; Dehaene & Naccache, 2001) unter anderem dieser Kritik Rechnung. Im Rahmen dieser Global Neuronal Workspace Theory wird die Aktivierungsstärke durch Bottom-Up Prozesse allein nicht als hinreichende Bedingung für die globale Zugänglichkeit angesehen. Zusätzlich bedarf es einer weiteren Verstärkung durch Aufmerksamkeit als Top-Down Prozess, um eine Information lange genug zu aktivieren, um sie global verfügbar zu machen. Ohne diesen Top-down Prozess kann eine Information zwar immer noch das Verhalten beeinflussen, dies geschieht dann jedoch unbewusst (Dehaene & Naccache, 2001). Dadurch wird dem



Unterschied zwischen bewussten und unbewussten Inhalten ein qualitativer Charakter verliehen. Diese verschiedenen Annahmen über die Natur der Dissoziation zwischen bewussten und unbewussten Inhalten sind äußerst relevant für die verschiedenen Vorstellungen von menschlichen (impliziten) Lernsystemen und sollen daher im Folgenden exemplarisch anhand zweier weiterer Theorien zur Entstehung von Bewusstsein vorgestellt werden.

### 3.2.1 Quantitative Verstärkung

Nach der Ansicht von Cleeremans und Kollegen (Boyer et al., 2005; Cleeremans, 2002, 2006; Cleeremans & Jiménez, 2002) ist Lernen eine notwendige Folge aus jeder Informationsverarbeitung. Da im Rahmen dieses Modells das kognitive System als eine Ansammlung einzelner Verarbeitungsmodule angesehen wird, lässt sich Lernen als die Veränderung von „Verbindungen zwischen den Verarbeitungseinheiten jedes Moduls und zwischen den Modulen selbst“ (Cleeremans, 2002, S. 8) beschreiben.

Bewusstsein und Lernen stehen dabei in einer dynamischen, reziproken Beziehung zueinander. Bewusstsein wird hier als ein Kontinuum verstanden, welches sich aus der Qualität von Repräsentationen ergibt, welche wiederum in den Aktivierungsmustern der Verarbeitungseinheiten wiederzufinden sind. Die zentrale Funktion von Bewusstsein ist es, die fortschreitende Adaptation von Verhalten zu ermöglichen. Daher wird angenommen, dass Lernprozesse einerseits zur Entstehung von Bewusstsein führen und dessen Inhalt verändern, Bewusstsein jedoch andererseits auch Lernprozesse auslöst (Cleeremans & Jiménez, 2002). Der Einfluss von Bewusstsein auf Lernprozesse hängt von der erwähnten Qualität der Repräsentationen ab. Diese Qualität definiert sich über die Merkmale zeitliche Stabilität, Repräsentationsstärke und Unterscheidbarkeit der Repräsentationen. Während die zeitliche Stabilität die Dauer der Aktivierung der Repräsentation bei der Verarbeitung beschreibt, wird unter Repräsentationsstärke die Anzahl und der Aktivierungsgrad der beteiligten Ver-

arbeitungseinheiten verstanden. Das Merkmal der Unterscheidbarkeit bezieht sich auf die Distinktheit der Aktivierungsmuster der beteiligten Verarbeitungseinheiten relativ zueinander bei der Verarbeitung verschiedener Informationen. Die sich aus diesen Faktoren ergebende Repräsentationsqualität ist maßgeblich für die Bewusstheit einer Repräsentation. Die Repräsentationsqualität nimmt durch die fortlaufende Beschäftigung mit Exemplaren eines Bereichs stetig zu und führt so zu immer besser an die Umwelt und ihre Varianzen adaptierten Verhaltensweisen (Cleeremans, 2006).

Die Beziehung zwischen Bewusstsein und Repräsentationsqualität ist hier jedoch keineswegs linear in dem Sinne, dass eine immer höhere Qualität zu einer höheren Wahrscheinlichkeit von Bewusstsein führt, wie Abbildung 3.1 zeigt. Cleeremans (2002) unterscheidet in Anlehnung an Block (1995) zwischen verschiedenen Dimensionen von Bewusstsein: Wirksamkeit (Zugangsbewusstsein, Block, 1995), Zugänglichkeit für subjektive Erfahrungen (Phänomenales Bewusstsein, Block, 1995) und Zugänglichkeit für Kontrolle. Wirksamkeit beschreibt den möglichen Einfluss einer Repräsentation auf das beobachtbare Verhalten. Zugänglichkeit für subjektive Erfahrung meint hier die subjektive Qualität von Erfahrung (siehe auch Qualia in Abschnitt 3.1). Zugänglichkeit für Kontrolle entspricht dem Ausmaß der Kontrollierbarkeit des Einflusses einer Repräsentation. Abbildung 3.1 zeigt die Beziehungen dieser drei Komponenten von Bewusstsein zueinander als Funktion der Repräsentationsqualität.

Anhand von Abbildung 3.1 lässt sich erkennen, dass sich die Verläufe der Bewusstseinskomponenten mit zunehmender Repräsentationsqualität unterscheiden. Schwache Repräsentationen (implizit) weisen relativ schwach ausgeprägte Bewusstseinskomponenten auf. Dennoch sind auch Repräsentationen in diesem Stadium dazu in der Lage, dass Verhalten zu beeinflussen, wenngleich dies jedoch ohne die Möglichkeit der bewussten Kontrolle oder bewussten Erfahrung geschieht, was der mangelnden Distinktheit der Repräsentation geschuldet ist (Cleeremans, 2002).

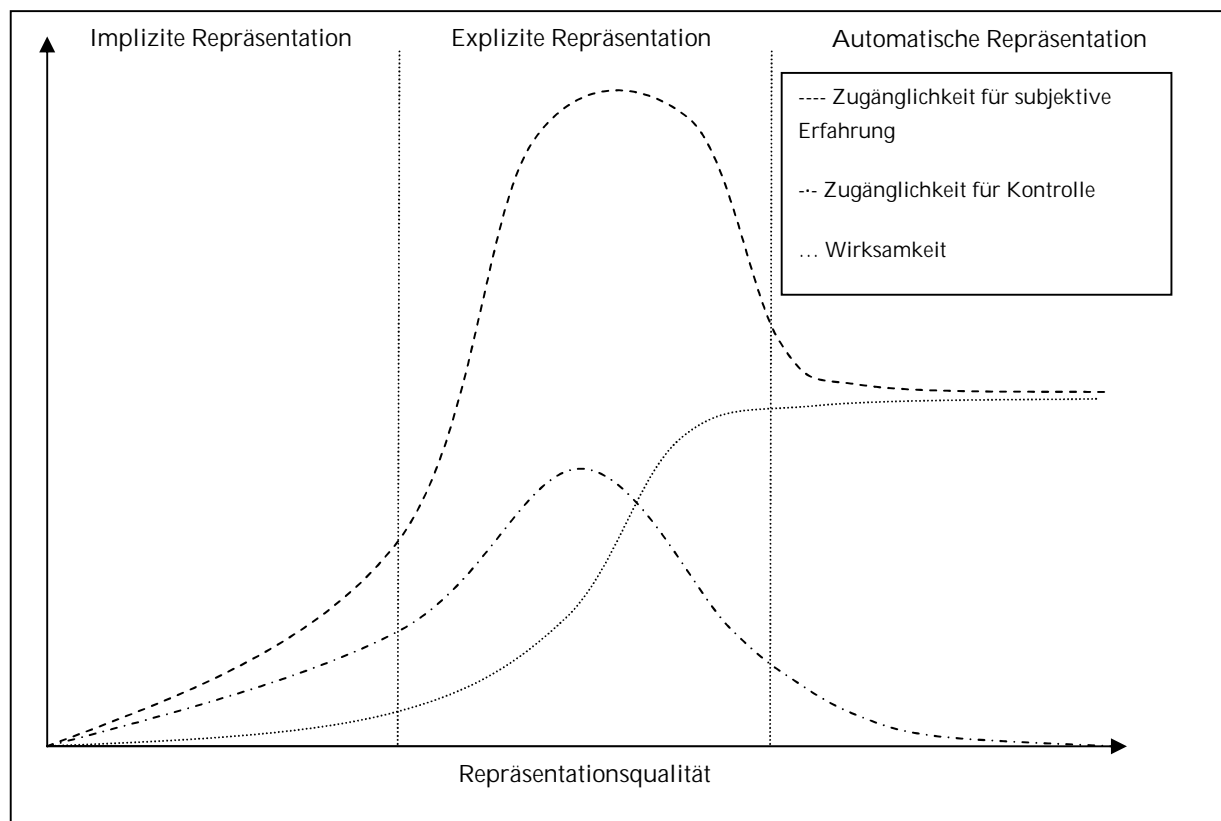


Abbildung 3.1: Bewusstsein als Funktion der Repräsentationsqualität in einem Verarbeitungsmodul (aus Cleremanns, 2002). Die auf der Abszisse abgetragene Repräsentationsqualität setzt sich aus der zeitlichen Stabilität, der Stärke und der Unterscheidbarkeit der Repräsentation zusammen.

Gewinnt eine Repräsentation durch andauernde Lernprozesse an Qualität (explizite Repräsentation), nimmt zunächst vor allem die Zugänglichkeit für subjektive Erfahrung relativ zu den anderen Bewusstseinskomponenten zu. Damit einher geht jedoch auch die Zunahme an Wirksamkeit und Zugänglichkeit für Kontrolle. In diesem Stadium können Repräsentationen sowohl von sich aus Verhalten initiieren und beeinflussen, als auch durch exekutive Funktionen beeinflusst werden. Die Zugänglichkeit für bewusste Erfahrung ist hier maximal, d.h. sowohl die Repräsentation als auch ihre Auswirkungen auf das Verhalten sind Teil der subjektiven Erfahrung. Diese erhöhte Zugänglichkeit für Kontrolle und subjektive Erfahrung ergibt sich als notwendige Konsequenz aus der Funktion des Bewusstseins, d. h. der Adaption des Verhaltens (Cleeremans & Jiménez, 2002). Weitere Lernprozesse lassen die Repräsentationsqualität weiter ansteigen und führen zu automatischen Repräsentationen. Repräsentationen und ihre Auswirkungen auf das Verhalten in diesem Stadium sind weiterhin potentiell der bewussten Erfahrung zugänglich, was jedoch nicht notwendiger-

weise mit der Möglichkeit der Kontrolle einhergeht (Cleeremans, 2006). Im Sinne der Optimierung der Repräsentationen für die Verhaltenssteuerung ist allerdings auch keine erhöhte Zugänglichkeit für Kontrolle mehr notwendig, da die Repräsentationen nun ausreichend angepasst sind und keiner weiteren Optimierung mehr bedürfen.

Obwohl Abbildung 3.1 die Abszisse in drei Bereiche einteilt, gehen Cleeremans und Kollegen (Boyer et al., 2005; Cleeremans, 2002, 2006; Cleeremans & Jiménez, 2002) in ihrem Modell von einer rein quantitativen Veränderung der Güte einer Repräsentation als entscheidendem Faktor bei der Entstehung von Bewusstsein aus. Jedoch wird auch in diesem Modell die Repräsentationsstärke lediglich als notwendige Bedingung für die verbale Zugänglichkeit und damit Bewusstheit erachtet. Zusätzlich nennt Cleeremans (2002) den Einfluss von Aufmerksamkeits- und Integrationsprozessen als hinreichende Bedingung für die Verbalisierbarkeit von Repräsentationen, ohne jedoch genau zu spezifizieren, wie genau der Wirkmechanismus dieses Einflusses geartet ist. Allerdings lässt sich diese Annahme mit der integrativen Funktion des Global Workspace in Einklang bringen (Frensch et al., 2003). Im Unterschied zu dem von Cleeremans postulierten quantitativen Wechsel nehmen beispielsweise Higher-Order-Thought-Theorien, welche im folgenden Abschnitt vorgestellt werden sollen, einen qualitativen Unterschied bewussten und unbewussten Inhalten des kognitiven Systems an.

### 3.2.2 Qualitativer Repräsentationswechsel

Vertreter von Higher-Order-Thought-Theorien (HOT-Theorien, z.B. Carruthers, 2007; Rosenthal, 1993, 1997, 2000a, 2000b) erachten einen übergeordneten Gedanken, der einen potentiellen Bewusstseinsinhalt betrifft, als notwendige Bedingung für die Entstehung von Bewusstsein. Damit ein Inhalt das Bewusstsein erreicht, ist es nicht ausreichend einen Gedanken zu haben oder einen visuellen Reiz wahrzunehmen. Die notwendige Bedingung für den Eintritt eines Inhalts ins Bewusstsein ist die gleich-

zeitige Existenz eines übergeordneten Gedankens (Higher-Order-Thought) darüber, diesen Gedanken zu haben oder einen Stimulus wahrzunehmen. Zwingend erforderlich für die Entstehung von Bewusstsein ist also eine Metakognition über den potentiellen Bewusstseinsinhalt (Rosenthal, 2000b). Oberflächlich betrachtet mag diese Hypothese zirkulär erscheinen, jedoch liefert Dietrich (2007, S. 116) ein gutes Beispiel zur Verdeutlichung:

„As an example, consider being hungry. You can be entirely unconscious of having this mental state until you direct a thought at it, at which point you become cognizant of your desire to eat. Another way of saying this is that a thought or feeling becomes conscious when we think about it. It is this “doubling up” of knowledge that defines consciousness; knowledge itself becomes the item of a representation.”

Es ist wichtig anzumerken, dass der HOT selbst nicht notwendigerweise bewusst sein muss, um dem potentiellen Bewusstseinsinhalt zum Eintritt ins Bewusstsein zu verhelfen. Rosenthal (1993, 1997) nimmt sogar an, dass dies unter normalen Umständen selten der Fall ist und der HOT selbst erst dann bewusst wird, wenn er Ziel eines anderen, übergeordneten, HOT ist. Kritisch an der Konzeption von HOTs als Notwendigkeit für Bewusstsein ist, dass damit sämtlichen Lebewesen ohne die Fähigkeit zur Metakognition ein Bewusstsein aberkannt wird, was Tiere, Kleinkinder, aber auch geistig stark unterentwickelte Erwachsene mit einschließt (Dietrich, 2007). Wie treffend diese Kritik ist, hängt vor allem davon ab, inwieweit Sprache als notwendige Bedingung für die Fähigkeit zur Metakognition betrachtet wird. Obwohl Rosenthal (Rosenthal, 1993, 1997) Sprache als äußerst wichtig ansieht, schließt er Metakognitionen in anderer Form nicht aus. Unklar ist dabei jedoch welche Form diese Metakognitionen genau haben können, wenn sie keinerlei Sprache beinhalten.

Die Idee von HOTs als notwendige Bedingung für Bewusstsein lässt sich auch im Kontext der Forschung zum impliziten Lernen finden (Dienes, 2004; Dienes & Perner, 1996, 1999, 2002a, 2002b, 2004). Den Bezugsrahmen bildet dabei die Representational theory of mind (Field, 1978; Fodor, 1978). Die Grundannahme dieses

theoretischen Rahmens ist, dass mentale Repräsentationen in einer Gedankensprache („mentalesisch“; Aydede, 2010) in der Form von Sätzen („propositional attitudes“ (Dienes & Perner, 1999, S. 735) vorliegen. Diese Repräsentationen bestehen aus einer Proposition (dem eigentlichen Satzinhalt), einem Subjekt (z.B. einer Person) und einer Haltung des Subjekts zu der Proposition. So beinhaltet beispielsweise die Repräsentation „Ich weiß, dass dieser Kugelschreiber blau ist“ die Proposition „dieser Kugelschreiber ist blau“, mich selbst als Person (Subjekt des Satzes) und „wissen“ als die Haltung der Person zur Proposition. Die einzelnen Elemente lassen sich dabei noch in Unterkomponenten einteilen (siehe Dienes & Perner (1999) für eine genauere Darstellung der einzelnen Komponenten). Die einzelnen Elemente (Proposition, Person und Haltung) einer Repräsentation müssen nicht notwendigerweise alle bewusst sein. In Abhängigkeit davon, welche Elemente bewusst sind, lassen sich drei verschiedene Grade von Bewusstheit einer Repräsentation unterscheiden (Dienes & Perner, 1999, 2002a, 2002b). Es kann lediglich der Inhalt selbst (die Proposition) bewusst sein, aber die Haltung der Person und die Person selbst sind unbewusst, oder es können sowohl der Inhalt als auch die Haltung dazu bewusst sein und nur die Person bleibt unbewusst. Vollständig bewusste Repräsentationen umfassen als dritte Möglichkeit einen bewussten Inhalt, eine bewusste Haltung und eine bewusste Person.

Es wird ersichtlich, dass die Elemente der Repräsentation einer hierarchischen Ordnung bezüglich Bewusstsein unterworfen sind (Dienes & Perner, 1999). An unterster Stelle in dieser Ordnung steht der Inhalt, darüber die Haltung und an oberster Stelle die Person. Ist ein Element höherer Ordnung bewusst, wird postuliert, dass alle Elemente niedrigerer Ordnung ebenfalls bewusst sind. Ist die Haltung also bewusst, so muss der Inhalt der Repräsentation ebenfalls bewusst sein. Es ist aber in diesem Fall möglich, dass die Person der Repräsentation unbewusst bleibt. Wie bereits erwähnt ist damit vollständige Bewusstheit einer Repräsentation dann gegeben, wenn alle Elemente einer Repräsentation bewusst sind. Die Verbindung zum Konzept des HOT

(Rosenthal, 1993, 1997) findet sich auf der höchsten Ebene der Hierarchie wieder, da sich die Bewusstheit der Person als HOT verstehen lässt.

Ähnlich wie Cleeremans (2002) nehmen Dienes und Perner (Dienes, 2004; Dienes & Perner, 1996, 1999) also auch unterschiedliche Abstufungen von Bewusstsein an. Jedoch gehen sie im Gegensatz zu Cleeremans nicht von einer rein quantitativen Veränderung aus, sondern postulieren eine qualitative Veränderung der Repräsentation auf den verschiedenen Bewusstseinsstufen. Allerdings fehlt in dem Modell von Dienes und Perner eine genaue Beschreibung der Mechanismen der bewussten Gewährwerdung. Einen Vorschlag zur Modellierung eines Mechanismus, der für eine qualitative Veränderung der Repräsentation im Rahmen von impliziten Lernprozessen verantwortlich ist, liefern Haider und Frensch (Frensch et al., 2003; Haider et al., in press; Haider & Frensch, 2005, 2009; Rüniger & Frensch, 2008) mit der Unexpected-event-hypothesis (UEH). Von zentraler Bedeutung für die UEH sind Ereignisse, welche nicht konsistent mit der vorangegangenen Erfahrung eines Individuums in einer Situation sind und so die Erwartungen des Individuums verletzen (Frensch et al., 2003). Diese Erwartungsverletzungen führen zu aktiven Such- und Attributionsprozessen mit dem Ziel die Ursache des unerwarteten Ereignisses zu finden, was in der Konsequenz zur Entstehung von Bewusstsein führt. Da die UEH im Umfeld der Forschung zum impliziten Lernen entstanden ist, lässt sich der postulierte Mechanismus wohl am leichtesten im Kontext eines entsprechenden experimentellen Paradigmas verdeutlichen, wie beispielsweise der SRT (siehe Abschnitt 2.3).

Im Verlauf des fortlaufenden Trainings in der SRT beschleunigen die Probanden normalerweise zunehmend ihre Reaktionen, was als Indiz für implizite Lernprozesse angesehen wird (z.B. Nissen & Bullemer, 1987). Immer wieder kommt es in solchen Untersuchungen vor, dass ein Teil der Versuchspersonen nach dem Training dazu in der Lage ist, die zugrunde liegende Regularität des Stimulusmaterials zu benennen. Im Kontext der UEH lässt sich dieses Entstehen von explizitem Wissen über die Re-

gularität beispielsweise dadurch erklären, dass der Proband eine besonders schnelle und gleichzeitig korrekte Eingabe macht oder eine zunehmende Flüssigkeit der motorischen Eingaben wahrnimmt. Dieses für die Versuchsperson unerwartete Ereignis kann dazu führen, dass sie damit beginnt, mögliche Ursachen für diese verfrühte Eingabe zu suchen. Als Ergebnis der Attributionsprozesse kann der Proband zu dem Schluss kommen, dass es eine Regularität im Stimulusmaterial geben muss, da anderweitig die überdurchschnittlich schnelle Reaktion nicht zu erklären ist. Als Konsequenz daraus steigt die Wahrscheinlichkeit dafür an, dass der Proband aktiv nach der Regularität sucht und diese schlussendlich auch entdeckt (Haider & Frensch, 2009).

Jedoch führen nicht alle unerwarteten Ereignisse per se zu der Entdeckung der Regularität. Die Voraussetzung für die Entdeckung ist zunächst eine Verbindung zwischen dem Stimulusmaterial und dem Ereignis. Darüber hinaus steigt die Wahrscheinlichkeit einer Entdeckung, wenn keine alternativen Erklärungen für das unerwartete Ereignis präsent sind. In der beschriebenen experimentellen Situation würde ein kurzes Einfrieren des Computerbildschirms wahrscheinlich nicht zur Entdeckung führen, da das Ereignis auf eine Fehlfunktion des Computers attribuiert werden kann. Analog dazu würde die oben beschriebene vorzeitige Reaktion ebenfalls nicht zu einer Entdeckung führen, wenn dem Probanden ein anderer möglicher Grund für das Ereignis offeriert werden würde. Dies könnte zum Beispiel in Form einer Instruktion geschehen, die vereinzelt auftretende verfrühte Reaktionen als bekanntes Problem bei nachlassender Aufmerksamkeit benennt (Haider & Frensch, 2005).

Abstrahiert man vom genannten experimentellen Beispiel, wird ersichtlich, dass die UEH auf der Annahme zweier distinkter Lernmechanismen beruht. Zunächst wird ein impliziter Lernprozess angenommen, welcher initial für die Verhaltensänderung (z.B. Beschleunigung der Reaktionszeiten) verantwortlich ist. Tritt dann ein unerwartetes Ereignis ein, startet ein zweiter, expliziter Prozess des Hypothesentestens, um eine mögliche Ursache für das Ereignis zu finden. Dies bildet die Verbindung zu



HOTs, da die Repräsentation der Aufgabe umstrukturiert wird und so die qualitative Veränderung der Repräsentation eine notwendige Bedingung zur Entstehung von Bewusstsein darstellt (Frensch et al., 2003).

Evidenzen für die UEH lassen sich vor allem in Reaktionszeitdaten finden. Haider und Rose (2007) stellten ein Verfahren zur Reaktionszeitanalyse vor, mit dessen Hilfe der Zeitpunkt der bewussten Gewährwerdung einer Regularität im Verlauf des Trainings bestimmt werden kann. Hinter diesem Verfahren steht die Annahme, dass die Entdeckung der Regularität nicht nur für den verbalen Report zur Verfügung steht, sondern auch intentional zur Verhaltensteuerung genutzt wird. Dadurch bietet sich den Probanden die Möglichkeit eines Strategiewechsels bei der Aufgabenbearbeitung, da die Probanden nach der Entdeckung der Sequenz nicht länger abhängig von der Stimuluspräsentation sind, sondern ihre Reaktion bereits im Vorfeld vorbereiten können (Haider & Frensch, 1999). Sichtbar wird dieser Strategiewechsel in den Reaktionsdaten in Form einer Diskontinuität die einem abrupten Abfall der Reaktionszeiten (RT-Drop) entspricht (Haider & Frensch, 2009; Rose, Haider & Büchel, 2010). Haider et al. (in press) nutzten dieses Verfahren in einer SRT-Studie mit Stroop-ähnlichen (Stroop, 1935) Stimuli und konnten zeigen, dass eine hohe Korrelation zwischen dem Auftreten dieses RT-Drops und dem Vorhandsein expliziten Wissens besteht. Dazu wurden die Probanden anhand der Anzahl detektierter RT-Drops post-hoc in zwei Gruppen (RT-Drop vs Kein-RT-Drop) aufgeteilt und ihr Wissen mittels der Prozessdissoziationsprozedur (Exp. 1) und der Wettaufgabe (Exp. 2) erfasst. Für eine genauere Darstellung der beiden Verfahren sei hier auf Abschnitt 2.4 verwiesen. Versuchspersonen mit RT-Drops reproduzierten in der Inklusionsbedingung bedeutend mehr korrekte Sequenzübergänge und waren in der Lage ihr Wissen in der Exklusionsbedingung zu kontrollieren. Im Gegensatz dazu reproduzierten Probanden ohne detektierte Diskontinuitäten vergleichbar viele Sequenzübergänge in beiden Testbedingungen. Dieses Ergebnismuster fand sich auch bei der Verwendung der Wettaufgabe im zweiten Experiment. In der RT-Drop-Bedingung wurden signifikant mehr korrekte Vorhersagen getätigt. Zudem gingen die korrekten Vorhersa-

gen nur in dieser Bedingung häufiger mit einem hohen Wetteinsatz einher, was für die strategische Nutzbarkeit des Wissens zur Gewinnmaximierung interpretiert werden kann.

Ferner zeigten diejenigen Probanden, die einen RT-Drop aufwiesen, nach dessen Auftreten in beiden Experimenten keinen Stroop-Effekt mehr, was im Sinne eines Strategiewechsels bei der Aufgabenbearbeitung interpretiert werden kann. Dieser Strategiewechsel wiederum lässt sich als Indiz für die qualitative Veränderung der Repräsentation deuten, welche mit der bewussten Gewährwerdung der Sequenz einhergeht. Haider et al (in press) konnten zudem zeigen, dass der Stroop-Effekt nach dem Zeitpunkt des RT-Drops abrupt verschwand. Dies spricht dafür, dass Bewusstsein nach einem Alles-oder-Nichts-Prinzip entsteht und nicht, wie beispielsweise von Cleeremans (2002) angenommen, ein graduelles Phänomen ist. Unterstützt wird diese Interpretation von den Befunden von Rose et al. (2010), welche einen bedeutenden Anstieg der Aktivität im  $\gamma$ -Band des EEG zum Zeitpunkt des RT-Drops berichteten.

Im Verlauf dieses Kapitels wurde gezeigt, wie stark die theoretischen Vorstellungen zu Bewusstsein divergieren. Dies betrifft sowohl die Frage nach den essentiellen Bestandteilen von Bewusstsein und deren Untersuchbarkeit mittels empirischer Methoden (Abschnitt 3.1) als auch die Annahmen darüber, was bewusste und unbewusste Inhalte des kognitiven Systems voneinander unterscheidet und wie diese Unterschiede entstehen (Abschnitt 3.2). Darüber hinaus wurde bereits erwähnt, dass die verschiedenen Vorstellungen zur Entstehung von Bewusstsein von hoher Relevanz für die verschiedenen Modelle zur Struktur menschlicher Lernsysteme sind. Dies wird besonders deutlich wenn man Single-System und Multiple-Systems Ansätze miteinander vergleicht, welche im folgenden Kapitel gegenübergestellt werden sollen.

## 4. Theoretische Vorstellungen zu menschlichen Lernsystemen

Die unterschiedlichen theoretischen Vorstellungen zur Struktur menschlicher Lernsysteme lassen sich zunächst grob in zwei Klassen einteilen. Auf der einen Seite stehen Autoren (z.B. Cleeremans & Jiménez, 2002; Kinder & Shanks, 2003; Kinder, Shanks, Cock & Tunney, 2003; Perruchet & Vinter, 2002; Shanks & Johnstone, 1999; Shanks et al., 2003), die einen einzelnen Lernmechanismus annehmen (Single-System View). Das andere theoretische Lager (z.B. Dienes & Perner, 1999; Haider & Frensch, 2005; Keele et al., 2003; Squire, 1992; Willingham, 1998) postuliert hingegen eine Interaktion mindestens zweier verschiedener Lernmechanismen (Multiple-Systems View), wobei sich die Art der angenommen Interaktionen zwischen diesen Lernmechanismen jedoch stark voneinander unterscheiden. Eine grafische Veranschaulichung der verschiedenen Möglichkeiten den Zusammenhang zwischen Lernen und Bewusstsein zu betrachten bietet Abbildung 4.1 nach Frensch und Rüniger (2003). Im Folgenden sollen nun die dort dargestellten theoretischen Annahmen vorgestellt und vor dem Hintergrund der empirischen Datenlage diskutiert werden.

Als Beispiel für die mit „A“ gekennzeichnete Annahme können Perruchet und Kollegen (Perruchet & Amorim, 1992; Perruchet, Bigand & Benoit-Gonin, 1997; Perruchet & Vinter, 2002; Perruchet, Vinter & Gallego, 1997) herangezogen werden. Nach dieser Auffassung braucht es keine Annahme eines separaten impliziten Lernmechanismus, da jedwedes Wissen von Bewusstsein begleitet ist. Die empirisch gefundenen Dissoziationen zwischen Performanzmaßen und explizitem Wissen (siehe Abschnitt 2.1 bis 2.3), welche oft als Indiz für einen impliziten Lernmechanismus interpretiert werden, werden hier als Artefakte unterschiedlicher Testsensitivität (siehe Abschnitt 2.4) angesehen. Perruchet und Kollegen (Perruchet, Bigand, et al., 1997; Perruchet & Vinter, 2002) betrachten beispielsweise Rekognitionstests als weniger sensitiv, da in dieser Testsituation keine Kontextinformationen aus der Lernphase präsent sind, während dies bei einem Reaktionszeitmaß der Fall ist.

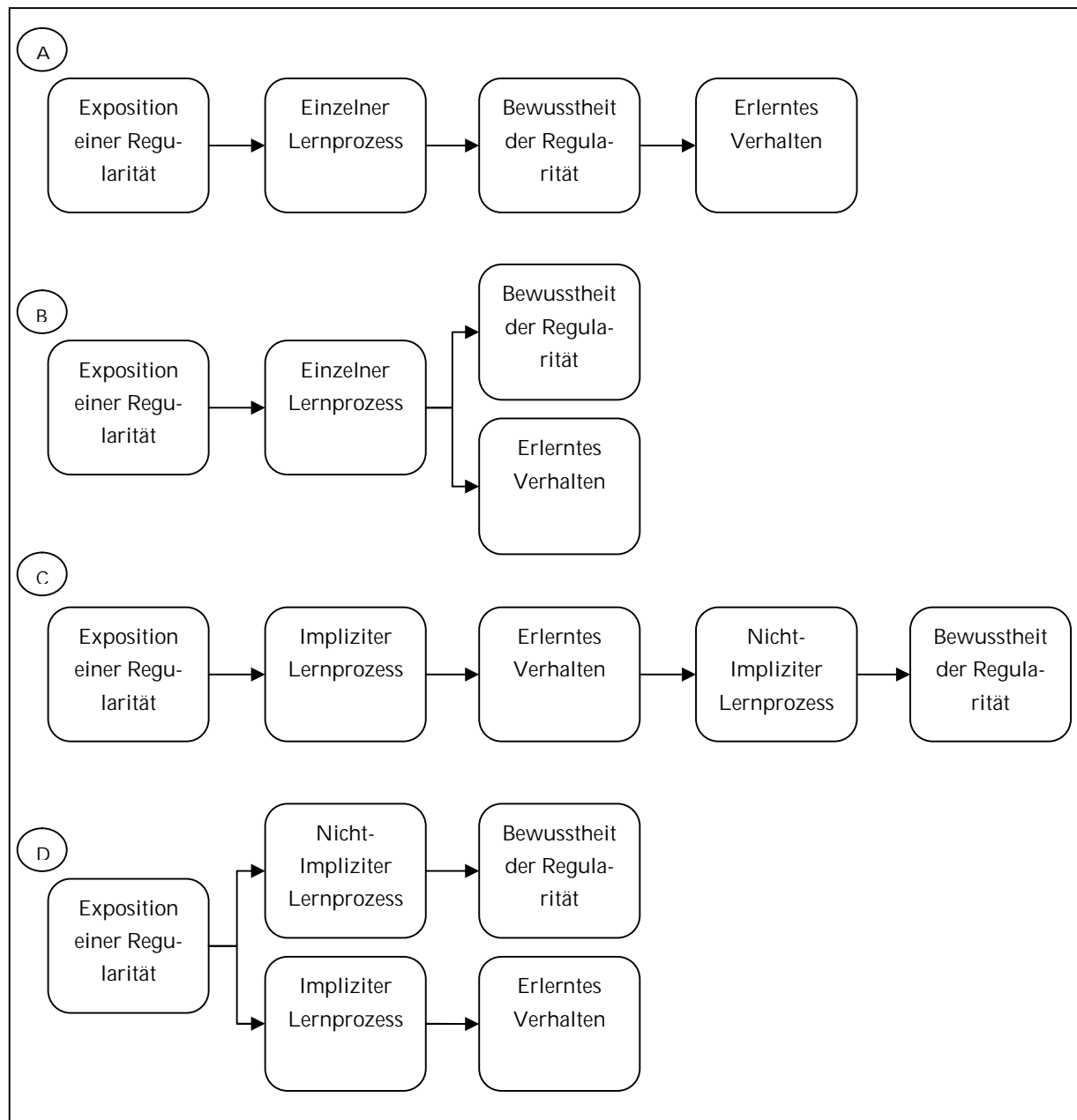


Abbildung 4.1: Verschiedene Annahmen über Lernmechanismen nach Frensch und Rüniger (2003). Es unterscheiden sich sowohl die angenommene Anzahl der beteiligten Lernprozesse, als auch die Art und Weise wie eventuell verschiedene Mechanismen miteinander interagieren.<sup>1</sup>

Beide Maße zielen auf die gleiche (explizite) Wissensbasis ab und Dissoziationen entstehen durch unterschiedliche Anforderungen an diese Wissensbasis seitens der verwendeten Messverfahren. Bewusstsein entsteht hier ähnlich wie in dem von

<sup>1</sup> Das Original der Abbildung enthält zusätzlich eine Visualisierung der theoretischen Annahmen der Instanzen Theorie von Logan (1988, 1990, 1992; Logan, Taylor & Etherton, 1999). In dieser Theorie ist der explizite Lernprozess dem impliziten Prozess im Gegensatz zur hier dargestellten Variante „C“ zeitlich vorgeschaltet. Gegenstand der Theorie sind jedoch Automatisierungsprozesse, die nicht in einer inzidentellen Lernsituation stattfinden und daher für die vorliegende Arbeit nicht von zentraler Bedeutung sind.

Cleeremans (Cleeremans, 2002, 2006; Cleeremans & Jiménez, 2002) vorgeschlagenen Modell durch einen kontinuierlichen Verstärkungsprozess. Im Gegensatz zu Cleeremans nehmen jedoch Perruchet und Vinter (2002) an, dass Lernen immer von Bewusstsein begleitet ist.

Neben den Befunden, die generell gegen Single-System-Ansätze sprechen und weiter unten diskutiert werden sollen, sprechen besonders Befunde aus der Prozessdissoziationsprozedur gegen diese Annahme. Beispielsweise konnten Destrebecqz und Cleeremans (2001, 2003) zeigen, dass ein Teil der Probanden zwar überzufällig gute Leistungen in der Inklusionsbedingung aufwies, gleichzeitig jedoch eine erhöhte Anzahl von Intrusionsfehlern in der Exklusionsbedingung produzierte. Dieses Ergebnismuster ist jedoch nicht mit der Annahme einer perfekten Korrelation zwischen Bewusstsein und Lernen (Perruchet, et al., 1997) vereinbar, da explizites Wissen exekutiver Kontrolle unterliegen sollte und somit Intrusionsfehler gemäß der Exklusionsinstruktion verhindert werden müssten (siehe jedoch auch Wilkinson und Shanks (2004) für eine Kritik).

Eine abgeschwächte Variante des Single-System-Ansatzes („B“ in Abbildung 4.1) wird vor allem von David Shanks und Kollegen (Kinder & Shanks, 2003; Kinder et al., 2003; Shanks, 2003; Shanks et al., 2003; Wilkinson & Shanks, 2004) vertreten. Auch hier wird von einem einzelnen Lernprozess ausgegangen, welcher sowohl implizite (z.B. Reaktionszeiten) als auch explizite (z.B. Verbaler Report) Maße beeinflusst. Um die gefundene Dissoziation zwischen den beiden Arten von abhängigen Variablen zu erklären, wird angenommen, dass beide Maße Transformationen derselben Repräsentation sind. Die empirisch gefundenen Unterschiede resultieren aus der Art der geforderten Transformation der gemeinsamen Wissensbasis, welche von der jeweiligen Reaktion (z.B. Verbalisierung vs motorische Eingabe) abhängt (Shanks et al., 2003).

Auf diesem Wege wird die Möglichkeit eingeräumt, dass manche Transformationen dem Bewusstsein zugänglich sind, während andere dies nicht sind (Frensch &

Rünger, 2003). Ein Großteil der Arbeiten von Shanks beschäftigt sich demnach auch damit, die in den Abschnitten 2.1 bis 2.3 dargestellten Unterschiede zwischen einem angenommen implizitem und einem expliziten Lernprozess zu replizieren und im Rahmen seines Single-System-Ansatzes zu reinterpretieren. Dabei stehen besonders die qualitativen Unterschiede zwischen expliziten und impliziten Lernprozessen im Fokus. Wie bereits in Abschnitt 2.4 aufgezeigt, lassen sich viele der gefundenen Dissoziationen mit den Eigenschaften der verwendeten Maße erklären (siehe auch Kinder und Shanks (2003) und Shanks (2003) für einen Überblick).

Jedoch existieren auch Evidenzen, welche mit Single-System-Theorien nur schwer in Einklang zu bringen sind. Da in dieser Sichtweise explizites Wissen auf einem Verstärkungsprozess beruht, ist es eine zwangsläufige Konsequenz von Lernprozessen. Allerdings konnten Haider und Frensch (2002) zeigen, dass eine Verdreifachung der Trainingsdurchgänge nur zu einem zehnpromtigen Zuwachs an explizitem Wissen führt. Diese Ergebnisse lassen sich nur dann mit einem Single-System-Ansatz vereinbaren, wenn man annimmt, dass der Verlauf der Entwicklung des expliziten Wissens mit zunehmender Übung abflacht und sich bei ausreichender Übungsdauer asymptotisch einem Wert annähert. Haider, Frensch und Kollegen legten jedoch noch weitere Ergebnisse vor, welche eine Variante der Multiple-Systems-Ansätze nahelegen. Von besonderer Bedeutung sind dabei Erwartungsverletzungen wie sie im Rahmen der UEH („C“ in Abbildung 4.1) hervorgehoben werden. Beispielsweise konnten Haider und Frensch (2005, 2009) einen direkten Einfluss der Auftretenswahrscheinlichkeit von Erwartungsverletzungen auf das Ausmaß verbalisierbaren Wissens aufzeigen. Wie bereits in Abschnitt 3.2.2 erwähnt, können diese Erwartungsverletzungen zu abrupten Reaktionszeitbeschleunigung führen, welche sich mit einem kontinuierlichen Verstärkungsmechanismus nur schwer erklären lassen (siehe hierzu auch die Befunde von Haider et al. (in press) in Abschnitt 3.2.2). Ferner lassen sich Hinweise für einen sehr starken Zusammenhang zwischen einer Reaktionszeitdiskontinuität und der Fähigkeit die Regularität zu verbalisieren finden, was für einen Strategiewechsel bei der Aufgabenbearbeitung spricht (Frensch

et al., 2003). Die möglichen Probleme bei der Verwendung eines verbalen Reports als Maß für explizites Wissen bestehen in diesem Kontext jedoch weiterhin (siehe Abschnitt 2.4). Ein Befund, der von diesem potentiellen Problem nicht betroffen ist, stammt von Rose et al. (2010), welche eine zeitliche Übereinstimmung zwischen erhöhter Aktivierung im  $\gamma$ -Band des EEG und der Reaktionszeitdiskontinuität berichteten. Dies kann als Indikator für eine qualitative Änderung der Aufgabenrepräsentation und der bewussten Gewährwerdung der Regularität verstanden werden.

Die letzte in Abbildung 4.1 vorgestellte Möglichkeit den Zusammenhang zwischen expliziten und impliziten Prozessen zu modellieren ist die Annahme von zwei enkapsulierten, parallel arbeitenden Prozessen, wie sie von Squire und Kollegen vertreten wird (Knowlton, Seth & Squire, 1992; Knowlton & Squire, 1994; Reber & Squire, 1994, 1998; Squire, 1992). Explizite und implizite Lernprozesse arbeiten nach der Ansicht von Squire (1992) völlig unabhängig voneinander und bilden auch zwei unabhängige Repräsentationen in zwei distinkten Gedächtnissystemen (deklaratives vs nondeklaratives Gedächtnis) aus. Diese Trennung beruht auf der Beteiligung unterschiedlicher Hirnareale, auf denen die Funktion der beiden Gedächtnissysteme beruht. Während das explizite System primär auf Aktivität im medialen Temporallappen (MTL) fußt, sind für das implizite System primär der Motorkortex, sowie das Striatum (genauer Nucleus Caudatus und Putamen) relevant (Reber & Squire, 1994, 1998). Obwohl beide Prozesse getrennt voneinander ablaufen, wird auch hier eine Interaktion beider Systeme auf Verhaltensebene postuliert, so dass offen gezeigtes Verhalten auf der Aktivität beider Systeme beruht (Reber & Squire, 1998). Evidenzen für die Enkapsuliertheit der Lernsysteme stammen vor allem von Vergleichen zwischen amnestischen Patienten und gesunden Personen. Das Hauptergebnis dieser Studien ist, dass Amnestiker sich zwar im impliziten Wissen nicht von Kontrollprobanden unterscheiden, sie jedoch signifikant weniger explizites Wissen über die Regularität aufweisen (Knowlton et al., 1992; Knowlton & Squire, 1994; Reber & Squire, 1998). Die Unversehrtheit impliziter Lernprozesse bei amnestischen Patienten ist jedoch nur dann gegeben, wenn die striatalen Areale intakt sind

(Knopman & Nissen, 1991). Die direkte Zuordnung zwischen einem bestimmten Hirnareal und einem Lernsystem wird jedoch in neueren Untersuchungen in Frage gestellt. So fanden Rose, Haider, Weiller und Büchel (2002) eine Beteiligung des ventralen Teils des MTLs in einer inzidentellen Lernsituation auch nach Ausschluss aller Probanden mit explizitem Wissen über die Regularität (siehe dazu auch die ergänzenden Ergebnisse von Rose, Haider, & Büchel (2005)).

Zwei weitere einflussreiche Theorien über die Struktur impliziter Lernprozesse stammen von Willingham (1998) und Keele et al. (2003). Da sich beide Theorien besonders bezüglich der Modalitätsspezifität und Aufmerksamkeitsabhängigkeit impliziten Lernens unterscheiden, sollen sie in Abschnitt 6 vorgestellt werden. Obwohl die Forschung zum impliziten Lernen mittlerweile eine beachtliche Menge an Arbeiten (siehe Abschnitt 2.1 bis 2.3) umfasst, die sich mit der Dissoziation von explizitem und implizitem Lernen befasst, lässt sich die Frage nach der genauen Beschaffenheit der Beziehung zwischen expliziten und impliziten Lernmechanismen auch hier nicht final beantworten. Einer der Gründe dafür besteht in der uneinheitlichen Definition von implizitem Lernen (Frensch & Rüniger, 2003), ein anderer resultiert aus der potentiell problematischen Qualität der verwendeten Wissensmaße in den genannten Evidenzen (siehe Abschnitt 2.4). Jedoch lässt die in diesem Abschnitt dargestellte Befundlage zumindest die Annahme eines impliziten Lernmechanismus zu, wobei viele strukturelle Eigenschaften dieses angenommenen Mechanismus bislang eher unklar sind. Einer dieser bisher ungeklärten Punkte betrifft die Einheitlichkeit dieses Mechanismus und somit eine der zentralen Fragestellungen der vorliegenden Arbeit, welche in Abschnitt 6 dargestellt werden sollen. Von besonderem Interesse für diese Arbeit ist jedoch auch die angenommene Unabhängigkeit impliziter Lernprozesse von Aufmerksamkeit. Daher werden im folgenden Abschnitt zunächst die bisherigen Befunde zu diesem Thema diskutiert.



## 5. Implizites Lernen und Aufmerksamkeit

Wie bereits in Abschnitt 2 erwähnt bildet die angenommene Unabhängigkeit von Aufmerksamkeit eines der wichtigsten Definitionskriterien impliziten Lernens (Frensch, 1998; Jiménez & Méndez, 1999). Jedoch vermittelt ein Blick in die einschlägige Literatur ein vielschichtigeres Bild des Zusammenhangs zwischen diesen beiden Phänomenen. Um diesen Zusammenhang zu verstehen ist es zunächst nötig, Aufmerksamkeit genauer zu definieren.

Nach Johnston und Dark (1986) lassen sich zumindest zwei verschiedene Konzepte unterscheiden, die mit dem Begriff Aufmerksamkeit belegt sind. Zum einen lässt sich Aufmerksamkeit als begrenzte Ressource im kognitiven System verstehen, welche als begrenzender Faktor für die parallele Verarbeitung verschiedener Informationen verstanden werden kann (divided attention). Zum anderen kann Aufmerksamkeit als Selektionsprozess begriffen werden, welcher für die Auswahl der zu verarbeitenden Anteile der Stimulusumgebung verantwortlich ist (selective attention). Da die jeweiligen Zusammenhänge dieser beiden Konzepte mit impliziten Lernprozessen voneinander divergieren, sollen sie in den beiden folgenden Abschnitten getrennt voneinander betrachtet werden, bevor in Abschnitt 6 zwei weitere Theorien zu menschlichen Lernmechanismen vorgestellt werden, welche sich anhand der beiden Konzepte von Aufmerksamkeit unterscheiden lassen.

### 5.1 Aufmerksamkeit als Ressource

Betrachtet man Aufmerksamkeit als begrenzt verfügbare Ressource (Johnston & Dark, 1986), wird augenscheinlich, dass die meisten Evidenzen Dual-Task Paradigmen verwenden, um sich dem Phänomen zu nähern (z.B. Curran & Keele, 1993; Jiménez & Méndez, 1999; Reed & Johnson, 1999; Shanks, 2003; Shanks, et al., 2005; Stadler, 1995). In diesen Paradigmen werden den Probanden zwei oder mehr verschiedene Aufgaben oder Stimuli zur parallelen Verarbeitung vorgegeben. Um den Effekt der

Aufmerksamkeit als Ressource zu untersuchen, wird die Leistung der Probanden bei dieser simultanen Bearbeitung (dual-task-condition) mit der Performanz ohne Sekundäraufgabe (single-task-condition) verglichen. Unterscheiden sich die Leistungen in beiden Bedingungen nicht, kann davon ausgegangen werden, dass die Leistung unabhängig von Aufmerksamkeitsressourcen ist.

Die Auswirkungen von Sekundäraufgaben auf implizite Lernprozesse wurden in einer Reihe von Dual-Task-Studien im SRT-Paradigma untersucht, die uneinheitliche Ergebnisse erbrachten. Frühe Studien (z.B. Nissen & Bullemer, 1987, Exp. 2) präsentierten den Versuchspersonen parallel zur SRT hohe und tiefe Töne. Die Sekundäraufgabe bestand darin, alle hohen Töne mitzuzählen (tone-counting-task). Der Vergleich zwischen der Bearbeitung einer SRT mit entweder regelhaftem oder randomisiertem Material ergab keinen Unterschied in den Reaktionszeiten. Zwar beschleunigten die Probanden ihre Reaktionszeiten in beiden Bedingungen, jedoch zeigten Probanden die mit regelhaftem Material trainiert wurden, keine zusätzlichen Lerneffekte in den Reaktionszeiten. Ähnliche Einflüsse lassen sich auch in den Paradigmen der künstlichen Grammatiken (Dienes et al., 1991) und der komplexen Systeme finden (Hayes & Broadbent, 1988), bei denen die Generierung randomisierter Zahlen als Zweitaufgabe eingesetzt wurde.

Obwohl diese Ergebnisse für die Abhängigkeit impliziten Lernens von Aufmerksamkeitsressourcen sprechen, zeigen sich in der Literatur auch Evidenzen, die diese einfache Interpretation in Zweifel ziehen. So fanden beispielsweise Cohen et al. (1990) trotz einer parallelen Tone-counting-Aufgabe implizite Lernprozesse bei FOC-Sequenzen und Hybridsequenzen, jedoch keine Lerneffekte für komplexe Sequenzen, die nur aus SOC's bestanden. Allerdings scheint die Komplexität allein nicht die moderierende Variable für den Einfluss von Sekundäraufgaben zu sein, denn Reed und Johnson (1994) berichteten signifikante Lerneffekte unter Dual-Task-Bedingungen für komplexe SOC-Sequenzen. Ferner lieferten andere Studien Hinweise darauf, dass die Tone-counting-Aufgabe für das Lernen von FOC-, SOC- und Hyb-

rid-Sequenzen gleichermaßen störend war und die Effekte impliziten Lernens zwar abschwächte, sie aber nicht gänzlich verschwinden ließ (Frensch et al., 1994). Das von der Literatur gezeichnete Gesamtbild des Problems wird zusätzlich komplexer, wenn zwischen dem Lernen und der behavioralen Umsetzung des Gelernten unterschieden wird. So fanden Frensch et al. (1998) sowie Schvaneveldt und Gomez (1998) Hinweise dafür, dass die impliziten Lernprozesse zwar nicht durch die beschriebene Zweitaufgabe beeinflusst werden, die Umsetzung des implizit Gelernten in einen Performanzvorteil aber durch die Sekundäraufgabe unterdrückt wird. Dieses Ergebnis konnte von Shanks et al. (2005) jedoch nicht repliziert werden.

Eine mögliche Erklärung für diese widersprüchlichen Ergebnisse lieferte Stadler (1995). In einer vorangegangenen Reihe von Experimenten zeigte Stadler (1993), dass implizites Sequenzlernen beeinträchtigt wird, wenn Pausen an zufälligen Positionen in der Sequenz eingebracht werden. Diese Beeinträchtigung konnte bei Pausen an fixen Positionen in der Sequenz nicht beobachtet werden. Diese Ergebnisse wurden als Evidenz für eine Organisation des Lernmaterials in einzelne zeitliche Gruppen interpretiert. Stadler (1995) vermutet, dass die Tone-counting-Aufgabe eine vergleichbare Wirkung auf die Aufgabenbearbeitung im SRT-Paradigma nach sich zieht. Zwar wird in der Aufgabe nach jedem Stimulus ein Ton präsentiert, jedoch muss nicht auf alle Töne gleich reagiert werden, da nur die relevanten Töne (z.B. Töne mit hoher Frequenz) eine Aktualisierung des internen Zählers erfordern. Die Präsentation der Töne innerhalb des RSIs an randomisierten Positionen der Sequenz könnte so zu einer irreführenden zeitlichen Gruppierung des Stimulusmaterials führen. Der störende Effekt der Zweitaufgabe würde somit nicht in einer Beanspruchung der Aufmerksamkeitsressourcen, sondern durch die zeitliche Platzierung eines zusätzlich zu bearbeitenden Stimulus begründet sein. Um diese Hypothese zu testen, verglich Stadler (1995) die Auswirkungen verschiedener Sekundäraufgaben und variabler RSIs im Rahmen des SRT-Paradigmas miteinander. Während die Tone-counting-Aufgabe und variable RSIs zu vergleichbaren Verminderungen impliziten Wissens führten, hatte das Behalten von Zahlenfolgen über einen Block keinen störenden Einfluss auf das

Ausmaß der impliziten Lerneffekte (für eine ähnliche Interpretation siehe auch Frensch und Miner (1994) und Frensch et al. (1994)). Bei einem Vergleich der Auswirkungen verschiedener Sekundäraufgaben auf das implizite Lernen konnten diese Ergebnisse für die Tone-counting-Task repliziert werden (Heuer & Schmidtke, 1996).

Um die problematischen Eigenschaften der Tone-counting-Task zu umgehen, verwendeten Jiménez und Méndez (1999, 2001) in einer Reihe von SRT-Experimenten unter Single- und Dual-Task-Bedingungen die Symbol-counting-Task als Zweitaufgabe. Bei dieser Aufgabe wird kein Urteil über einen zusätzlichen Stimulus während des RSIs verlangt. Stattdessen variiert die Form der Zielreize zwischen den Durchgängen und die Probanden sollen die Anzahl eines Teils der verschiedenen Formen am Ende des jeweiligen Aufgabenblocks wiedergeben. Bei der Verwendung dieser Sekundäraufgabe fanden die Autoren keinen störenden Einfluss unter Dual-Task-Bedingungen. Unglücklicherweise konnten Shanks et al. (2005) auch diese Ergebnisse nicht replizieren. Ein möglicher Grund für die fehlgeschlagene Replikation besteht in der stark divergierenden Durchgangsanzahl der beiden Versuchsreihen. Die Probanden in der Untersuchung von Jiménez und Méndez absolvierten insgesamt über 30.000 Durchgänge, während den Versuchspersonen in der Replikationsstudie nur ein Zehntel dieser Durchgänge vorgegeben wurde. Der fehlende Unterschied zwischen Dual-Task- und Single-Task-Bedingungen in den Studien von Jiménez und Méndez könnte daher auch aus einer besonders effizienten Strategie des permanenten Wechsels zwischen den beiden Aufgaben resultieren, die ein Ergebnis des langen Trainingszeitraums ist.

Zusammengefasst zeigen die vorgestellten Dual-Task-Studien in diesem Bereich ein uneinheitliches Bild. Um die Unabhängigkeit impliziten Lernens von Aufmerksamkeitsressourcen zu demonstrieren, wurden daher von einigen Autoren mehrere Sequenzen parallel dargeboten (z. B. Buchner & Steffens, 2001; Jiménez & Méndez, 1999, 2001; Mayr, 1996). Obwohl einige dieser Studien die Möglichkeit des parallelen Lernens verschiedener Sequenzen nahelegen, sind ihre Ergebnisse in diesem Zu-

sammenhang jedoch mit Vorsicht zu interpretieren, da die verwendeten Sequenzen nicht vollständig unabhängig voneinander sind. Die zusätzliche Vorhersagekraft einer Sequenz auf die andere könnte so dem negativen Effekt der mangelnden Aufmerksamkeitsressourcen entgegenwirken oder ihn sogar maskieren. Für eine weiterführende Diskussion dieses Problems sei an dieser Stelle an Shanks (2003) und Shanks et al. (2005) und verwiesen. Allerdings sind diese Studien vor dem Hintergrund des Konzepts der selective attention relevant und werden daher im folgenden Abschnitt erneut unter diesem Blickwinkel diskutiert.

## 5.2 Aufmerksamkeit als Selektionsprozess

Die im letzten Abschnitt diskutierte Unabhängigkeit impliziter Lernprozesse von Aufmerksamkeitsressourcen und die angenommene automatische Natur dieser Prozesse implizieren nicht notwendigerweise, dass implizites Lernen per se alle Eigenschaften der Umgebungsreize betrifft und damit ebenfalls unabhängig von Selektionsprozessen ist. Die bereits im letzten Abschnitt vorgestellte SRT-Experimentalsreihe von Jiménez und Méndez (1999) lässt eine erste Bewertung der Auswirkungen von Manipulationen der selective attention zu. Wie bereits erwähnt wurden in diesen Untersuchungen Dual- und Single-Task-Bedingungen miteinander verglichen. Der Unterschied zwischen beiden Bedingungen bestand in der Art der Instruktion. Die Probanden der Dual-Task-Gruppe sollten die Form des Zielreizes beachten und die Auftretenshäufigkeit einiger Formen mitzählen, während Versuchspersonen in der Single-Task-Gruppe keinerlei Anweisung erhielten, diese Stimuluseigenschaft zu beachten. Da in diesem Experiment die Formen der Stimuli eine probabilistische Vorhersagekraft für die Lokation des nächsten Reizes besaßen, liefert ein Vergleich zwischen konsistenten (die Lokation des folgenden Reizes folgt der Vorhersage der Stimulusform) und inkonsistenten (die Lokation verletzt die Vorhersage) Durchgängen ein Maß für das implizite Wissen über die Beziehung zwischen Formen und Lokationen. Die Autoren verglichen das Ausmaß des Wissens zwischen Dual- und Sin-

gle-Task-Bedingungen und fanden nur in der Dual-Task-Bedingung einen signifikanten Unterschied zwischen konsistenten und inkonsistenten Durchgängen (siehe auch Schmidtke und Heuer (1997, Exp. 3) für ähnliche Ergebnisse). Dies spricht dafür, dass die Regularität in der Zweitaufgabe nur unter Dual-Task-Bedingungen gelernt wurde, also wenn die Aufmerksamkeit auf diese Regularität gelenkt wurde. Diese Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass implizites Lernen nicht unselektiv ist, sondern die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf die relevanten Stimulusmerkmale eine notwendige Bedingung für implizite Lernprozesse darstellt.

Weitere Unterstützung dieser Interpretation offeriert eine von Remillard (2009) durchgeführte Studie. Das in dieser Studie verwendete Target-marked-locations-Paradigma (TML-Paradigma) erforderte von den Probanden in Abhängigkeit des Zielreizes entweder eine motorische Reaktion mit der linken oder mit der rechten Hand. Das Stimulusdisplay bestand jeweils aus drei Stimuli, die eine Reaktion mit der linken Hand verlangten, und drei Stimuli, die eine Reaktion mit der rechten Hand erforderten. Durch die Präsentation eines Cues unterhalb des Stimulusdisplays wurde der jeweilige Zielreiz angezeigt. Die Abfolge der korrekten motorischen Eingaben war dabei quasi-randomisiert, da sich die probabilistische Regularität im TML-Paradigma auf die räumliche Position der Zielreize beschränkte. Zusätzlich zum Cue wurde in einer Bedingung ein dem Cue ähnlicher Distraktor dargeboten. Der Vergleich zwischen dieser Bedingung und einer Kontrollgruppe ohne Distraktoren offenbarte signifikante störende Effekte des Distraktors auf das implizite Lernmaß. Obwohl dies zunächst für einen unselektiven impliziten Lernmechanismus spricht, konnten die nachfolgenden Experimente der Untersuchungsreihe zeigen, dass der störende Effekt des Distraktors nur dann auftritt, wenn Cue und Distraktor gleichfarbig sind (Exp. 2) und parallel dargeboten werden (Exp. 3). Zusammengefasst sprechen diese Befunde für die Wichtigkeit der Aufmerksamkeitsausrichtung beim impliziten Lernen und einen selektiven impliziten Lernmechanismus.

Der Einfluss der Aufmerksamkeitsausrichtung auf den Effekt der Distraktoren lässt sich auch im sog. Contextual-cueing-Paradigma (Chun & Jiang, 1998, 1999; Jiang & Chun, 2001; Jiang & Leung, 2005) nachweisen. Jiang und Chun (2001) instruierten ihre Probanden nach einem umgedrehten „T“ in einer Menge von Distraktoren („L“-s) zu suchen. Die Hälfte der Distraktoren hatte die gleiche Farbe wie der Zielreiz (beachtet), während die andere Hälfte in einer anderen Farbe präsentiert wurde (unbeachtet). Variiert wurden hierbei die räumlichen Anordnungen der Distraktoren, welche entweder wiederholt oder jeweils neu gestaltet wurden. Ein möglicher Reaktionszeitvorteil ergibt sich aus den festen Paarungen der wiederholt dargebotenen Distraktoranordnungen mit bestimmten Positionen des Zielreizes. Die wiederholte Darbietung derselben räumlichen Anordnungen führte bei unbeachteten Distraktoren nicht zu einer Beschleunigung der Suchvorgänge. Allerdings verkürzten sich die Suchvorgänge bei wiederkehrenden räumlichen Mustern der beachteten Distraktoren. Auch diese Ergebnisse sind mit einem unselektiv arbeitenden impliziten Lernmechanismus nur schwer in Einklang zu bringen, da sich sonst kein Unterschied zwischen der Wirkung von beachteten und unbeachteten Distraktoren zeigen sollte.

Die vorgestellten Befunde sprechen insgesamt für die Abhängigkeit impliziter Lernprozesse von der Aufmerksamkeitsausrichtung. Unklar ist jedoch bislang, wie der dahinterstehende Wirkmechanismus verstanden werden kann. Eine Möglichkeit den Einfluss der Aufmerksamkeitsausrichtung zu modellieren liegt in einer veränderten Repräsentation der Aufgabe und der Regularität. Bezüglich der Entstehung von Aufgabenrepräsentationen nehmen Hommel, Müsseler, Aschersleben und Prinz (2001) an, dass sowohl beachtete als auch unbeachtete Eigenschaften der Aufgabe enkodiert und in die Repräsentation integriert werden, jedoch beachtete Eigenschaften bei der Handlungsteuerung stärker gewichtet werden. Um diese Hypothese zu überprüfen, untersuchten Wenke und Frensch (2005) die Auswirkungen verschiedener Instruktionen auf räumliche Kompatibilitätseffekte (Simon-Effekt, siehe z.B. Simon, 1990) in einem Dual-Task-Paradigma. Der Simon-Effekt beschreibt das Phä-

nomen einer verzögerten Reaktion, wenn die Position des Reizes und die Lokation der Reaktion inkompatibel sind (z.B. Reaktion auf einen „linken“ Stimulus mit der rechten Hand). Die Probanden von Wenke und Frensch mussten simultan zwei Aufgaben bearbeiten. Zum Einen sollten sie verbal auf zwei verschiedene Töne mit der Artikulation der Worte „links“ und „rechts“ reagieren. Zum Anderen sollten sie eine motorische Eingabe in Abhängigkeit der Form eines visuellen Reizes vornehmen. Die Instruktionen beschrieben die zu drückenden Tasten als „blau“ und „grün“, obwohl sie an einer linken bzw. rechten Position auf der Tastatur positioniert waren. Aus der Kombination von verbaler und motorischer Reaktion ergaben sich inkompatible und kompatible Durchgänge. Angenommen die „blaue“ Taste ist auf der linken Seite der Tastatur und der Ton erfordert die verbale Reaktion „links“, führt ein Symbol, welches das Drücken der „blauen“ Taste erfordert, zu einem kompatiblen Durchgang. Muss in diesem Durchgang hingegen mit der „grünen“ (rechts positionierten) Taste auf das Symbol reagiert werden, handelt es sich um einen inkompatiblen Durchgang. Erstaunlicherweise verschwand unter diesen Bedingungen der negative Simon-Effekt für inkompatible Durchgänge. Dieses Ergebnis lässt sich im Rahmen der von Hommel et al. (2001) formulierten Hypothese interpretieren. Durch die Betonung der Dimension Farbe in der Instruktion, wurde die Aufgabenrepräsentation abgeändert und den räumlichen Qualitäten weit weniger Gewicht verliehen. Durch die veränderte Repräsentation blieben die Kompatibilitätseffekte aus, da die Repräsentation weit weniger räumlich gewichtet war und somit kein Konflikt mit der räumlich repräsentierten verbalen Zweitaufgabe auftrat.

Gaschler, Wenke, Cohen und Frensch (submitted) erweiterten die von Wenke und Frensch (2005) berichteten Ergebnisse auf den Bereich des impliziten Sequenzlernens in einer SRT-Aufgabe. Die Autoren manipulierten die Art der Instruktion, welche entweder eine farbbasierte Aufgabenrepräsentation („wenn ein Kreuz erscheint, drücke die rote Taste“) oder eine räumliche Repräsentation („wenn ein Kreuz erscheint, drücke die linke Taste“) nahelegten. Bei einem Vergleich dieser Bedingungen fanden sich keine Unterschiede in den gezeigten Reaktionszeitmustern im Verlauf des SRT-



Trainings. Im zweiten Teil desselben Experiments wurden die vormals farblosen Formen quasi-randomisiert in den Farben der farbbasierten Instruktion eingefärbt. Daraus ergaben sich Durchgänge, die entweder zu der vorherigen Farbzuoordnung kompatibel (z.B. ein rotes Kreuz) oder inkompatibel (z.B. ein grünes Kreuz) waren. Im Vergleich der beiden Instruktionsbedingungen zeigten nur die Probanden mit einer farbbasierten Instruktion negative Kompatibilitätseffekte bei Durchgängen mit inkompatibler Farbzuoordnung.

Die Ergebnisse von Gaschler et al. (submitted) sprechen zunächst für einen Effekt der Instruktion auf die Aufgabenrepräsentation, welcher mit den Befunden von Wenke und Frensch (2005) vergleichbar ist. Darüber hinaus lässt der zweite Teil des Experiments den Rückschluss zu, dass nicht nur die Aufgabenrepräsentation beeinflusst wurde, sondern die Art der Instruktion auch die Repräsentation der Regularität veränderte. Zieht man die dargestellte Verbindung von selektiver Aufmerksamkeit und implizitem Lernen in Betracht, lässt sich der von Gaschler und Kollegen gefundene Instruktionseffekt auch als Ergebnis der Verschiebung der Aufmerksamkeit begreifen. Es ist möglich, dass die Betonung der perzeptuellen Eigenschaften des Reizmaterials in der farbbasierten Instruktion zu einer verstärkten Aufmerksamkeitsausrichtung auf diese Eigenschaften geführt hat und sich so im Vergleich zur Kontrollbedingung eine qualitativ veränderte Repräsentation entwickelt hat. Diese Vorstellung soll im folgenden Abschnitt erneut aufgegriffen werden.

## 6. Fragestellung: Modalitätsspezifität impliziten Lernens

Um das Verständnis der Fragestellung zu erleichtern erscheint es sinnvoll, an dieser Stelle zunächst die wichtigsten Aspekte der vorangegangenen Abschnitte kurz zusammenzufassen. Die in den Abschnitten 2.1 bis 2.3 vorgestellten Befunde lassen den Schluss zu, dass implizites Wissen in einer inzidentellen Lernsituation erworben werden kann. Allerdings wurde bereits in Abschnitt 2.4 darauf hingewiesen, dass die verwendeten Wissensmaße in vielen Studien kritisch zu betrachten sind. Ein potentielles Problem besteht dabei in der systematischen Unterschätzung expliziten Wissens, was die Interpretation der Befunde im Sinne eines impliziten Lernmechanismus erschwert (Shanks & St. John, 1994). Die von Persaud und Kollegen (2007) vorgestellte Wettaufgabe begegnet diesem Problem, indem die Probanden für die strategische Nutzung finanziell belohnt werden und so motiviert sein dürften, eventuell vorhandenes explizites Wissen bei der Aufgabenbearbeitung zu nutzen. Zudem erlaubt das Verfahren eine post-hoc Trennung zwischen Probanden mit explizitem Wissen und solchen, die lediglich über implizites Wissen verfügen (siehe die Ergebnisse von Haider et al., in press in Abschnitt 3.2.2).

Für die Detektion von Wissen welches von Bewusstsein begleitet ist, ist jedoch eine genauere Definition von Bewusstsein unumgänglich. In Abschnitt 3.1 wurden daher Qualia als kritisches Merkmal von Bewusstsein vorgestellt. Im Anschluss wurden theoretische Vorstellungen zur Entstehung von Bewusstsein diskutiert. In diesem Zusammenhang lassen sich quantitative (z. B. Cleeremans, 2002) und qualitative (z. B. Rosenthal, 1993; Dienes & Perner, 1999) Veränderungen der Repräsentation gegenüberstellen. Eine Möglichkeit die Entstehung von Bewusstsein in einer inzidentellen Lernsituation zu modellieren, bietet die in Abschnitt 3.2.2 vorgestellte UEH (z. B. Frensch et al., 2003). Die diskutierten Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass Erwartungsverletzungen zu expliziten Such- und Attributionsprozessen führen können, welche wiederum für die Entstehung expliziten Wissens über die verborgene Regularität verantwortlich sind.

Neben der UEH wurden in Kapitel 4 weitere Modellannahmen über die Struktur menschlicher Lernprozesse vorgestellt. Diese Annahmen lassen sich grob in zwei Gruppen einteilen. Vertreter des Single-System-Views postulieren nur einen Lernprozess (z. B. Perruchet & Vinter, 2002; Shanks, 2003) dessen Ergebnis sowohl expliziten als auch impliziten Maßen zugrundeliegt. Im Gegensatz dazu werden von Vertretern des Multiple-Systems-Views verschiedene Lernprozesse angenommen (z.B. Frensch et al., 2003; Squire, 1992).

Ein möglicher qualitativer Unterschied zwischen den postulierten expliziten und impliziten Lernprozessen besteht in ihrer unterschiedlichen Abhängigkeit von Aufmerksamkeit. Unterschieden wurde in diesem Zusammenhang zwischen Aufmerksamkeit als Ressource und Aufmerksamkeit als Selektionsprozess (Johnston & Dark, 1986). Die Befunde aus Dual-Task-Studien zeigen ein eher uneinheitliches Bild bezüglich der Verbindung von Aufmerksamkeit als Ressource und impliziten Lernprozessen. Allerdings scheinen implizite Lernprozesse nicht gänzlich unselektiv zu arbeiten, sondern vielmehr von Aufmerksamkeit als Selektionsprozess abhängig zu sein (siehe Abschnitt 5.2)

Wie aus dieser Übersicht der vorangegangenen Kapitel ersichtlich wird, beschäftigt sich ein Großteil der Literatur mit der Unterscheidung zwischen expliziten und impliziten Lernprozessen. Weit weniger häufig wird die Frage gestellt, inwiefern implizites Lernen einem einheitlichen Mechanismus unterliegt. In Anlehnung an Goschke, Friederici, Kotz und van Kampen (2001) lassen sich diesbezüglich eine einheitliche und eine modulare Sichtweise unterscheiden. Ein Vertreter der einheitlichen Sichtweise ist Willingham (1998, 1999; Willingham et al., 1989; Willingham, Greenberg & Thomas, 1997). In seinem COBALT-Modell (Control-Based Learning Theory) unterscheidet Willingham (1998) vier verschiedene Prozesse zur Handlungssteuerung, die sowohl unterschiedliche Repräsentationen generieren als auch auf verschiedenen neuronalen Strukturen beruhen. Motorischer Fertigkeitserwerb im Rahmen einer SRT findet demnach durch die Optimierung dieser Prozesse im Verlauf des Trai-

nings statt. Zudem unterscheidet Willingham zwischen einem bewussten und einem unbewussten Verarbeitungsmodus. Beide Modi unterscheiden sich bezüglich ihrer Abhängigkeit von Aufmerksamkeitsressourcen. Der bewusste Verarbeitungsmodus ist abhängig von der Verfügbarkeit dieser Ressourcen, während der unbewusste Modus keine Anforderungen an diese Ressourcen stellt. Beide Modi sind in Abbildung 6.1 dargestellt.

Am Anfang steht ein strategischer Prozess, der für die Identifikation des strategischen Ziels (z.B. einen Aufschlag beim Tennisspielen durchzuführen) verantwortlich ist und den dorsolateralen Frontalkortex involviert. Im Anschluss daran erfolgt die Auswahl der Bewegungsziele durch einen perzeptuell-motorischen Integrationsprozess, der auf dem posterioren Parietallappen und dem prämotorischen Kortex basiert. Am Beispiel eines Tennisaufschlags betrachtet, lässt sich dieser Prozess als die Berechnung der Endposition der Hand bzw. des Arms verstehen, die benötigt wird um den Ball mit der richtigen Stelle des Schlägers zu treffen. Der dritte postulierte Prozess sequenziert verschiedene Bewegungen, um das strategische Ziel zu erreichen. Um beispielsweise einen Aufschlag an einem bestimmten Punkt des gegnerischen Feldes zu platzieren, werden die nötigen Bewegungen generiert, um dieses Ziel zu erreichen. Die neuronalen Korrelate dieses Vorgangs lassen sich im supplementärmotorischen Kortex und der Basalganglienschleife lokalisieren. Zuletzt werden diese Bewegungen durch das Rückenmark in zeitliche und räumliche Muster von Muskelaktivierung umgesetzt. Motorische Kontrolle lässt sich demnach als ein Transformationsprozess von Repräsentationen begreifen. Dieser Transformationsprozess wird aber lediglich für den unbewussten Modus angenommen, da im bewussten Modus der strategische Prozess sowohl das strategische Ziel festlegt, als auch die Bewegungsziele definiert und letztlich auch die Sequenzierung der Bewegungen übernimmt (Willingham, 1998).

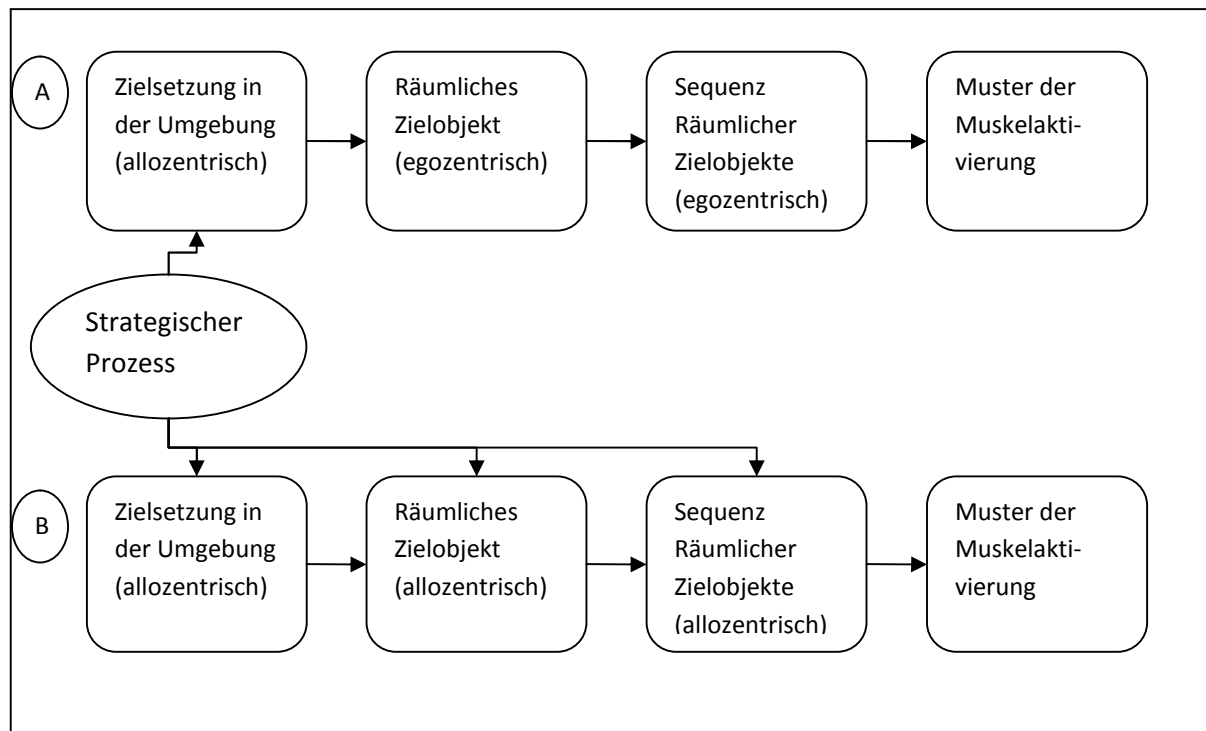


Abbildung 6.1: COBALT-Modell nach Willingham (1998, S. 561). Die obere Reihe (A) zeigt den unbewussten Verarbeitungsmodus, die untere Zeile (B) den bewussten Verarbeitungsmodus. Die räumlichen Repräsentationen sind dabei entweder egozentrisch oder allozentrisch.

Wie in Abbildung 6.1 ebenfalls zu erkennen ist, unterscheidet Willingham (1998) zwischen egozentrischen (A) und allozentrischen (B) Repräsentationen. Der Unterschied zwischen diesen Repräsentationsarten liegt in dem dazugehörigen Referenzpunkt und ihrer Zugänglichkeit für Bewusstsein. Die Lokationen von Objekten in allozentrischen Repräsentationen werden zueinander in Relation gesetzt und sind dem Bewusstsein zugänglich. In egozentrischen Repräsentationen bildet ein Teil des eigenen Körpers den Referenzpunkt. Diese Repräsentationen bleiben dem bewussten Zugang verschlossen. Am Beginn einer geplanten Handlung stehen unabhängig vom Verarbeitungsmodus allozentrische Repräsentationen. Da nach dem COBALT-Modell die Ausführung der meisten Bewegungen im unbewussten Verarbeitungsmodus abläuft, sind, wie in Abbildung 6.1 zu sehen, die nachfolgenden Transformationen der Repräsentation und die dazugehörigen Prozesse unbewusst. Implizites Sequenzlernen in einer SRT-Aufgabe lässt sich anhand dieses Modells als Optimierung des Sequenzierungsprozesses verstehen, wodurch es zu den zunehmend kürzeren Reaktionszeiten bei der Verwendung von regelhaftem Material kommt. Erkennt

ein Proband die verborgene Regularität, kann die Aufgabe auch im bewussten Verarbeitungsmodus absolviert werden. In diesem Fall übernimmt der strategische Prozess die Aufgabe des unbewussten Prozesses (Willingham, 1998). Willingham (1999) nimmt eine motorische Komponente der Sequenz als notwendige Bedingung für implizite Lernprozesse an, da im COBALT-Modell eine Sequenzrepräsentation in Form räumlicher Lokationen der Bewegungsziele postuliert wird. Diese Repräsentation ist jedoch nicht an einen Effektor gebunden.

Zusammengefasst modelliert Willingham (1999) implizites Lernen als einheitlichen Prozess, der zumindest teilweise von der motorischen Qualität einer Regularität als notwendiger Bedingung abhängt. Dieser Prozess ist größtenteils unabhängig von Aufmerksamkeitsressourcen, sofern genug dieser Ressourcen für die Initiierung einer Bewegung durch den intentionalen strategischen Prozess zur Verfügung stehen. Bezüglich der Rolle der Aufmerksamkeitsausrichtung macht Willingham keine genauen Vorhersagen. Da jedoch ein bewusster strategischer Prozess am Anfang der Handlungskontrolle steht, kann davon ausgegangen werden, dass der postulierte Mechanismus nicht gänzlich unselektiv arbeitet.

Im Gegensatz zum COBALT-Modell nehmen Keele et al. (2003) einen modularen Aufbau des impliziten Lernsystems an. Die Autoren stellen eine Reihe von enkapsulierten unidimensionalen Lernmodulen einem multidimensionalen Modul gegenüber. Die beiden Arten von Modulen unterscheiden sich bezüglich der Modalität der enthaltenen Repräsentationen, ihrer Aufmerksamkeitsabhängigkeit und ihrer Zugänglichkeit für Bewusstsein. Die unidimensionalen Module enthalten lediglich Repräsentationen einer Modalität<sup>2</sup> und sind unabhängig von Aufmerksamkeitsressourcen. Diese Unabhängigkeit begründet sich in der selektiven Verarbeitung von Stimuluseigenschaften einer Dimension, wodurch potentiell störende Einflüsse in anderen Dimensionen (z.B. eine parallel dargebotene Sequenz in einer anderen Moda-

---

<sup>2</sup> Der Begriff Dimension wird von den Autoren mit Modalität gleichgesetzt. Jedoch schließen sie nicht aus, dass verschiedene Dimensionen (z.B. Form und Lokation eines Objekts) und damit auch verschiedene Module innerhalb einer Modalität existieren können.

lität) die Verarbeitung in diesen Modulen nicht behindert. Zudem werden sie auch nicht von der Aufmerksamkeitsausrichtung beeinflusst, d. h. sie verarbeiten unselektiv alle Reizeigenschaften der jeweils passenden Dimension. Im Unterschied zum multidimensionalen Modul ist der Inhalt dieser enkapsulierten Module dem Bewusstsein nicht zugänglich und damit per se implizit. Im Unterschied dazu verarbeitet das multidimensionale Modul Reizeigenschaften aus verschiedenen Dimensionen und ist in der Lage, Kontingenzen zwischen verschiedenen Modalitäten zu integrieren. Damit dieses System nicht überlastet wird, wird ein Filtermechanismus in Form der Aufmerksamkeitsausrichtung angenommen, der nur beachteten Informationen Zugang zu diesem Modul gewährt. Eine Limitierung des Lernens durch Aufmerksamkeit wird hier also nicht als eventuelle Überlastung einer begrenzten Resource verstanden. Störende Effekte von Zweitaufgaben werden auf die Beeinträchtigung der Kohärenz der „primären“ Sequenz durch Ereignisse in der Zweitaufgabe zurückgeführt, die automatisch in die Primärsequenz integriert werden. Obwohl auch im multidimensionalen Modul Kontingenzen automatisch verarbeitet werden (und das Lernen damit implizit ist), sind die Inhalte des Moduls prinzipiell dem Bewusstsein zugänglich. Eine bewusste Gewährwerdung der zugrundeliegenden Regularität in einer SRT-Aufgabe lässt sich in diesem Modell also nur durch die Verarbeitung des Materials im multidimensionalen Modul erklären.

Vergleicht man die beiden oben diskutierten theoretischen Vorstellungen zu impliziten Lernmechanismen, stechen vor allem die unterschiedlichen Auffassungen bezüglich der Einheitlichkeit impliziter Lernprozesse hervor. Willingham (1998) modelliert implizites Sequenzlernen als einen Prozess motorischer Optimierung. Damit basiert Sequenzlernen auf einem einheitlichen System, welches einheitliche (motorische) Repräsentationen enthält. Demgegenüber nehmen Keele und Kollegen (2003) einen modularen Aufbau impliziter Lernprozesse an. Dieser Aufbau ermöglicht unabhängige Repräsentationen unterschiedlicher Regularitäten in verschiedenen Modalitäten. Diese mögliche Modalitätsspezifität impliziter Lernprozesse ist die zentrale Fragestellung dieser Arbeit. Folgt man der Annahme unabhängiger modalitätsspezifischer

Systeme stellt sich jedoch die Frage, wie genau die entstehenden Repräsentationen geartet sind und wie sie entstehen. Wie bereits beschrieben nehmen Keele und Kollegen an, dass die von ihnen postulierten unidimensionalen Module unselektiv arbeiten, also alle Regularitäten ihrer Modalität unabhängig von selektiver Aufmerksamkeit extrahiert werden. Allerdings legen die in Abschnitt 5.2 dargestellten Befunde eine enge Verbindung zwischen implizitem Lernen und selektiver Aufmerksamkeit nahe. Besonders die Ergebnisse von Frensch und Kollegen (Gaschler et al., submitted; Wenke & Frensch, 2005) lassen den Schluss zu, dass die Ausrichtung der Aufmerksamkeit die Art der Repräsentation moderiert. In Abhängigkeit der Aufmerksamkeitsausrichtung würden somit qualitativ unterschiedliche Aufgabenrepräsentationen entstehen, die verschiedene Modalitäten beinhalten. Die Aufmerksamkeitsausrichtung auf eine bestimmte Modalität kann vor diesem Hintergrund als notwendige Bedingung für das implizite Lernen einer Sequenz in dieser Modalität verstanden werden.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Struktur impliziter Lernmechanismen. Konkret thematisieren die durchgeführten Experimente eine mögliche Modalitätsspezifität impliziten Lernens vergleichbar mit den Annahmen von Keele et al. (2003). Es wurde hierbei der Frage nachgegangen, ob implizitem Lernen ein einheitliches System zugrunde liegt, oder ob sich in Abhängigkeit der Aufmerksamkeitsausrichtung qualitativ unterschiedliche Aufgaben- und Sequenzrepräsentationen unterscheiden lassen. Unter anderem wurden die vorliegenden Untersuchungen von Goschke et al. (2001) inspiriert. Goschke und Kollegen verglichen Patienten mit Läsionen im Broca-Areal mit gesunden Kontrollversuchspersonen unter Verwendung von zwei parallel dargebotenen Sequenzen. Während die motorische Sequenz von beiden Versuchspersonengruppen gelernt werden konnte, zeigten die Läsionspatienten selektive Beeinträchtigungen bei einer Sequenz aus Phonemen. In Anlehnung an die in Abschnitt 5.2 vorgestellten Ergebnisse von Frensch und Kollegen (Gaschler et al., submitted; Wenke & Frensch, 2005) und der engen Verbindung selektiver Aufmerksamkeit mit impliziten Lernprozessen (siehe ebenfalls Abschnitt 5.2), kann fer-



ner angenommen werden, dass die Repräsentation der Aufgabe und der Regularität in Paradigmen zum Sequenzlernen abhängig von der Aufmerksamkeitsausrichtung sind.

Manipuliert wurde die Aufmerksamkeitsausrichtung in den durchgeführten Experimenten durch verschiedene Eingabemethoden. Der Effekt der Eingabemethode auf implizites Lernen wurde bereits von anderen Autoren untersucht. So fanden Keele, Jennings, Jones, Caulton und Cohen (1995) unterschiedliche Effekte beim Wechsel der Eingabemethode in einer Transferphase mit gleichbleibender Sequenz während einer SRT-Aufgabe. Bei einem Wechsel von verbalen zu motorischen Eingaben zeigten sich geringere Einbußen, als bei einem Wechsel in umgekehrter Richtung. Diese Dissoziation lässt sich entweder durch unterschiedlich starke Verluste beim Transfer oder durch verschieden starke implizite Lernprozesse in Abhängigkeit der Eingabeart während der Trainingsphase erklären. Unglücklicherweise lässt das verwendete Versuchsdesign keine eindeutige Entscheidung zwischen diesen beiden Interpretationen zu. Koch und Hoffmann (2000) verglichen ebenfalls die Auswirkungen der Eingabeart (motorisch vs. verbal) auf das Lernen einer räumlichen Sequenz und berichteten mehr Sequenzwissen bei der Verwendung einer Eingabe mittels Tastatur. Die Autoren erklären dies durch zusätzliche strukturelle Informationen über die Sequenz durch die Tasteneingabe. Durch die feste Zuordnung zwischen Stimuluslokalationen und Antworttasten liefert die motorische Eingabe zusätzliche Informationen über die Sequenz durch den Wechsel der Finger und der Hände (siehe jedoch auch Zirngibl und Koch (2002) für gegenteilige Befunde). Durch diese erhöhte Salienz der Sequenz durch den regelhaften Effektorwechsel könnte es jedoch auch zu einer verstärkten Aufmerksamkeitsausrichtung auf die Motorik und damit eventuell zu Unterschieden in der Aufgabenrepräsentation gekommen sein.

Eine direkte Möglichkeit die Vorhersagen der beiden in diesem Abschnitt vorgestellten Modelle zu überprüfen und der zentralen Fragestellung dieser Arbeit nachzugehen, besteht in der Untersuchung perzeptuellen impliziten Lernens. Folgt man den

Annahmen von Willingham (1998, 1999), dürfte eine Regularität ohne motorische Komponente nicht gelernt werden, da die Repräsentation des Stimulusmaterials in Form von Bewegungszielen dann keinerlei Sequenz folgen würde. Im Unterschied dazu erlaubt der modulare Aufbau im Ansatz von Keele et al. (2003) implizite Lernprozesse ohne eine motorische Komponente der Regularität. Die bisherigen Befunde zum Lernen einer rein perzeptuellen Sequenz zeigen jedoch ein uneinheitliches Bild und werden in Abschnitt 7.1 genauer vorgestellt. Um die Aufmerksamkeitsausrichtung zu manipulieren, wurden die hier vorgestellten Experimente von den Probanden entweder per Tastensteuerung oder mit einer Computermouse bearbeitet. Diese Manipulation wurde gewählt, da die Ergebnisse von Koch und Hoffmann (2000) den Schluss zulassen, dass eine Bearbeitung mittels Tastensteuerung zu einer erhöhten Aufmerksamkeitsausrichtung auf die motorische Modalität führt und so Regularitäten außerhalb dieser Modalität eventuell nicht implizit gelernt werden. Diese Gefahr sollte durch die Bearbeitung mittels einer Mouse minimiert werden, da so die zusätzlichen strukturellen Informationen aus dem ständigen Wechsel der Effektoren entfallen (siehe auch Frensch et al. (2003) für Unterschiede im Regelwissen bei einem Vergleich zwischen Mouse- und Tastensteuerung).

Wie bereits erwähnt wurde in den vorliegenden Experimenten unter anderem die Möglichkeit untersucht, rein perzeptuelle Regularitäten (ohne jegliche Regelhaftigkeit in der Motorik) implizit zu lernen. Im ersten Experiment wurden die Effekte der Eingabeart auf das Lernen einer rein perzeptuellen Sequenz betrachtet. Die Möglichkeit des Erlernens einer rein perzeptuellen Sequenz ist mit den Annahmen von Keele et al. (2003), nicht aber mit denen von Willingham (1998) vereinbar (siehe oben). Im nachfolgenden Experiment wurde der Frage nachgegangen, inwiefern sich die gefundenen Unterschiede auf die Ausrichtung der Aufmerksamkeit zurückführen lassen, indem versucht wurde, die Aufmerksamkeit auch bei Tastensteuerung auf die visuelle Modalität zu lenken. Das dritte Experiment vertieft und erweitert die Befunde zum Effekt der Aufmerksamkeitsausrichtung. Zu diesem Zweck wurde eine Sequenz aus semantischen Kategorien in der SRT verwendet, wobei die einzelnen

Exemplare der jeweiligen Kategorie quasi-randomisiert präsentiert wurden. Auf diesem Weg wurde ein möglicher qualitativer Unterschied der Aufgabenrepräsentation durch die Aufmerksamkeitsausrichtung untersucht. Der Untersuchungsgegenstand des vierten Experiments ist die Fähigkeit zwei parallele unkorrelierte Sequenzen in verschiedenen Modalitäten gleichzeitig zu lernen. Legt man den modularen Aufbau des menschlichen Lernsystems von Keele und Kollegen zugrunde, sollte das Erlernen zweier unabhängiger Sequenzen in verschiedenen unidimensionalen Modulen unproblematisch sein. Abschließend wurde im fünften Experiment die Generalisierbarkeit der Befunde der ersten beiden Untersuchungen auf die akustische Modalität betrachtet.

## 7. Empirischer Teil

Wie im vorangegangenen Abschnitt deutlich wurde, besteht eine bisher ungeklärte Frage zum impliziten Lernen in der Struktur des impliziten Lernsystems. Die vorliegende Arbeit ist nicht die erste, die sich mit der Möglichkeit impliziten Lernens von rein perzeptuellen Sequenzen ohne räumlich-motorische Komponente beschäftigt. Jedoch lassen sich in den bisherigen Studien methodische Probleme finden, die die Beantwortung dieser Fragestellung bislang unmöglich machen. Im Folgenden sollen daher einige Untersuchungen in diesem Bereich vorgestellt und die immanenten Schwierigkeiten aufgezeigt werden.

### 7.1 Experiment 1: Perzeptuelles implizites Lernen

In der Tat sind die Befunde zum rein perzeptuellen impliziten Lernen von Sequenzen uneindeutig. Zunächst kann festgehalten werden, dass implizites Lernen nicht an einen Effektor gebunden ist, da ein Wechsel der Effektoren während des Trainings nicht zu signifikanten Einbußen in den Reaktionszeiten führt (Cohen et al., 1990; Keele et al., 1995; Willingham, 1999). Unklar ist bislang jedoch, ob eine räumlich-motorische Komponente (z.B. eine Sequenz der Lokationen der Stimuli) eine notwendige Bedingung für implizites Lernen darstellt, oder ob auch rein perzeptuelle Regularitäten gelernt werden können. Nach Willinghams (1998, 1999) Argumentation ist die Unabhängigkeit von einem bestimmten Effektor allein allerdings noch kein Indiz für eine rein perzeptuelle Sequenzrepräsentation, da die Sequenz ebenso als eine räumliche Anordnung von Bewegungszielen repräsentiert sein kann. Um also perzeptuelles implizites Lernen nachzuweisen, bedarf es der Trennung der perzeptuellen Sequenz von jeglicher räumlich-motorischer Regularität. Eine der hierzu verwendeten Forschungsstrategien besteht in der Untersuchung von Beobachtungslernen. Beispielsweise ließen Howard, Mutter und Howard (1992) einen Teil der Probanden eine SRT nicht selber bearbeiten, sondern die Bearbeitung der Aufgabe lediglich beobachten. In einer späteren Testphase zeigten diese Probanden die gleichen

Reaktionszeiteinbußen bei randomisierten Stimuli wie Probanden, die die Aufgabe selbst bearbeitet hatten (siehe Heyes und Foster (2002) für ähnliche Ergebnisse, siehe jedoch auch Kelly und Burton (2001) für eine misslungene Replikation). Allerdings sind diese Ergebnisse mit Vorsicht zu interpretieren, da nicht kontrolliert wurde, was die Probanden während des Beobachtungslernens getan haben. Es ist nicht auszuschließen, dass die Versuchspersonen sakkadische Augenbewegungen auf die präsentierten Stimuli vollführten und so ebenfalls motorisch auf die Stimuli reagiert haben (Nattkemper & Prinz, 1997). Diese Vermutung bestätigte sich in einer Studie von Marcus, Karatekin und Markiewicz (2006), die mithilfe von Blickbewegungsmessungen antizipatorische Augenbewegungen zu den jeweils folgenden Stimuluslokalisationen entdeckten.

Ferner legen einige Studien eine kritische Bedeutung einer motorischen Komponente nahe. Nattkemper und Prinz (1997) veränderten die Zuordnung zwischen Stimuli und Reaktionstasten im Vergleich zur traditionellen SRT, indem sie jeweils zwei verschiedene Stimuli einer Reaktionstaste zuordneten. So war es möglich verschiedene Arten von Devianten einzusetzen. Eine Art von Devianten verletzte sowohl die Sequenz der Stimuli als auch die Sequenz der geforderten Tastenreihenfolge. Der andere Deviantentypus verletzte nur die Reihenfolge der Stimuli, ließ die Reihenfolge der geforderten Reaktionen jedoch unberührt. Es zeigte sich, dass nur diejenigen Devianten zu signifikanten Reaktionszeiteinbußen führten, die eine Verletzung der Reaktionsreihenfolge beinhalteten. Daraus folgerten die Autoren, dass die Aufgaben- und Sequenzrepräsentationen zumindest teilweise räumlich-motorisch sein müssen (siehe hierzu auch Willingham, 1999).

Eine der wenigen Studien, in denen das Problem der Konfundierung mit antizipatorischen Blickbewegungen zumindest minimiert wurde, stammt von Remillard (Remillard, 2003, siehe auch Deroost und Soetens (2006) für eine Replikation). Unter Nutzung des in Abschnitt 5.2 beschriebenen TML-Paradigmas fand Remillard Hinweise auf rein perzeptuelles Lernen. Das verwendete

Stimulusdisplay bestand aus einer eng beieinander platzierten Reihe der Bigramme „xo“ und „ox“ (z.B. ox xo xo ox ox xo). In jedem Durchgang sollte in Abhängigkeit der Position eines Hinweisreizes (eine gestrichelte Linie unter einem der Bigramme) auf den Bigrammtypus mit einem Tastendruck der linken bzw. der rechten Hand reagiert werden. Die Reihenfolge der motorischen Eingabe war dabei randomisiert. Die einzig vorhandene Regularität bestand in einer probabilistischen räumlichen Sequenz der Zielpositionen. Im Verlauf des Trainings zeigten die Probanden zunehmende Performanzvorteile in ihren Reaktionszeiten. Jedoch lässt auch eine Minimierung der konfundierenden Blickbewegungen keine eindeutige Beantwortung der Fragestellung zu, da auch in diesem Fall die räumlich-motorische und die perzeptuelle Sequenz nicht vollständig voneinander entkoppelt sind.

Eine Ausnahme unter den bisher durchgeführten Studien in diesem Bereich stellt die Arbeit von Gheysen, Gevers, De Schutter, Van Waelvelde und Fias (2009) dar. In einer Variation des SRT-Paradigmas sollten die Probanden eine Anordnung farbiger Quadrate mit einem im Anschluss präsentierten farbigen Zielreiz vergleichen. In Abhängigkeit von der Anzahl der übereinstimmenden Farben zwischen den Quadraten und dem Zielreiz, sollte eine von vier möglichen Reaktionstasten betätigt werden. Die Regularität lag hierbei allein in den Farben der Zielreize, welche einer deterministischen Sequenz folgten. Die Autoren verglichen regelhafte und randomisierte Aufgabenblöcke hinsichtlich der Reaktionszeiten der Probanden und ließen die Versuchsteilnehmer im Anschluss eine Generierungsaufgabe unter zusätzlicher Verwendung der PDP (siehe Abschnitt 2.4) absolvieren. Tatsächlich fand sich ein kleiner Reaktionszeitvorteil bei regelhaften Durchgängen. Leider werfen jedoch die Ergebnisse der Generierungsaufgabe Fragen auf, da die Probanden sowohl in der Exklusions- als auch in der Inklusionsbedingung nur auf Zufallsniveau lagen. Beim Vorhandensein von Wissen über die Regularität sollte sich jedoch unabhängig von der Art des erworbenen Wissens (implizit oder explizit) eine überzufällige Generierungsleistung zeigen. Bei explizit verfügbarem Wissen sollten regelhafte Sequenzfragmente in der Inklusionsbedingung häufiger auftreten und gleichzeitig in der Ex-

klusionsbedingung wenige Intrusionsfehler zu verzeichnen sein, da das Wissen der bewussten Kontrolle unterliegt. Ist das erworbene Wissen hingegen implizit, sollten sowohl in der Inklusions- als auch in der Exklusionsbedingung mehr Sequenzfragmente generiert werden. Es ist damit fraglich, inwiefern die Probanden überhaupt Wissen über die Sequenz erworben haben. Diese Problematik führt zu der Frage, ob Reaktionszeitbeschleunigungen überhaupt ein geeignetes Maß für das Lernen einer rein perzeptuellen Sequenz sind. Wird die räumlich-motorische Komponente, also auch die Möglichkeit zur Nutzung antizipatorischer Blickbewegungen, vollständig von der perzeptuellen Regularität getrennt, sollten sich allgemein geringere Lerneffekte in den Reaktionszeiten nachweisen lassen. Da die Probanden unter diesen Umständen kaum dazu in der Lage sind, eine motorische Reaktion vor Erscheinen des nächsten Stimulus vorzubereiten, sollten die Beschleunigungen im Verlauf des Trainings geringer ausfallen. Es wird also ein Maß benötigt, welches unabhängig von den Reaktionszeiten einen Lerneffekt nachweisen kann und zusätzlich eine Aussage über die Art des erworbenen ermöglicht.

Fasst man die bisherigen Befunde zusammen, so offenbart sich, dass bislang kaum belastbare Evidenzen für rein perzeptuelles implizites Lernen zu finden sind. Das erste der vorliegenden Experimente verfolgte daher zwei Ziele. Zum einen sollte die Möglichkeit des impliziten Lernens einer rein perzeptuellen Sequenz untersucht werden. Dazu wurden die motorischen Eingaben quasi-randomisiert und so vollständig von der perzeptuellen Regularität (einer Sequenz von Farben) entkoppelt. Darüber hinaus wurde auch die räumliche Lokation der Stimuli randomisiert, um eine Beteiligung von Blickbewegungen auszuschließen. Aufgrund der Probleme der weiter oben vorgestellten Studien wurde daher in den vorliegenden Experimenten die in Abschnitt 2.4 vorgestellte Wettaufgabe (Haider et al., in press; Persaud et al., 2007, 2008) zur Wissenserfassung verwendet. Da bei einer vollständigen Entkopplung von Motorik und perzeptueller Sequenz nur ein geringfügiger Reaktionszeitvorteil zu erwarten ist, sind Reaktionszeitbeschleunigungen kein sonderlich geeignetes Maß für die Erfassung des erworbenen Wissens. Die Vorhersagen der Probanden

innerhalb der Wettaufgabe erlauben hingegen eine Aussage über das Ausmaß des erworbenen Wissens über die verborgene Regularität. Darüber hinaus lässt sich durch die Betrachtung der Wetteinsätze eine Aussage über die explizite Verfügbarkeit des Wissens tätigen. Sind die Probanden dazu in der Lage, ihr Wissen strategisch zu nutzen, um mittels häufiger korrekter Vorhersagen gepaart mit hohen Einsätzen ihren Gewinn zu maximieren, lässt dies auf explizites Wissen schließen. Zeigen die Versuchspersonen hingegen überzufällig gute Vorhersageleistungen ohne dieses Wissen für die Gewinnmaximierung zu nutzen, kann im Sinne des Null-Korrelations-Kriteriums (Dienes & Berry, 1997) auf das Vorhandensein impliziten Wissens geschlossen werden. Wie bereits Haider et al. (in press) zeigen konnten, lässt die Wettaufgabe eine Post-hoc-Klassifizierung der Probanden anhand ihrer Fähigkeit zur Gewinnmaximierung zu (siehe Abschnitt 3.2.2). Durch die Identifikation von Versuchspersonen mit explizitem Wissen erlaubt das Verfahren somit sowohl eine generelle Betrachtung des erworbenen Wissens als auch eine Analyse der Veränderungen der Effekte bei Ausschluss der Versuchspersonen mit explizitem Wissen.

Das zweite Ziel des Experiments war die Untersuchung der Effekte der Aufmerksamkeitsausrichtung auf implizite Lernprozesse. Dies wurde durch die Variation der Eingabemethode operationalisiert. Es wurde angenommen, dass die Verwendung einer Tastatursteuerung zu einer stärkeren Ausrichtung auf die motorische Modalität führt (siehe auch die Abschnitte 5.2 und 6) und so eine Aufgaben- und Sequenzrepräsentation entsteht, die keine oder nur geringe Anteile der perzeptuellen Modalität enthält. Daher sollten bei der Eingabe mittels Tastatur geringere Lerneffekte für eine rein perzeptuelle Sequenz zu beobachten sein.

### 7.1.1 Methode Experiment 1

Stichprobe. An der Untersuchung nahmen insgesamt 80 Studierende der Universität zu Köln teil, von denen 65 weiblich waren. Das Alter der Versuchspersonen lag zwischen 19 und 35 Jahren ( $M = 23,16$ ,  $STD = 3,32$ ). Die Probanden wurden zufällig auf



die vier Bedingungen des Experiments aufgeteilt. Unabhängig von der gezeigten Leistung erhielten die Probanden wahlweise mindestens 5 € oder eine Versuchspersonenbescheinigung. Darüber hinaus wurden eventuelle Gewinne aus der Wetttaufgabe ausgezahlt.

Material. Das durchgeführte SRT-Training war eine modifizierte Version der Originalaufgabe von Nissen und Bullemer (1987). Im Gegensatz zum ursprünglichen Paradigma wurden farbige Rechtecke (ca. 2 cm in der Diagonalen) an randomisierten Positionen im oberen Teil eines 17"-Computerbildschirms für 80 ms präsentiert. Wie Abbildung 7.1 zeigt, waren die Reaktionsfelder (ca. 3 cm in der Diagonalen und jeweils ca. 1,5 cm voneinander entfernt) im unteren Teil des Bildschirms in einem Halbkreis angeordnet, um bei einer Eingabe mittels Mouse vergleichbar schnelle Reaktionen für alle Reaktionsfelder zu ermöglichen.

In jedem Durchgang erschien ein farbiges Rechteck (Zielreiz) und die Aufgabe der Versuchspersonen war es, möglichst schnell das der Farbe des Zielreizes entsprechende Reaktionsfeld anzusteuern. In der Mouse-Bedingung sollte dazu der Mousezeiger auf das korrekte Reaktionsfeld gebracht und dort ein Linksklick ausgeführt werden. In der Tasten-Bedingung wurden die Tasten Y, X, C, B, N und M einer Tastatur im deutschen QWERTZ-Layout zur Eingabe verwendet. Die Tasten waren mit aufgeklebten Zahlen von eins bis sechs markiert. Die Zuordnung der Tasten zu den Reaktionsfeldern wurde räumlich möglichst kompatibel gehalten, d. h. die Y-Taste entsprach dem linken Reaktionsfeld, die M-Taste dem rechten Reaktionsfeld, etc. Die Versuchsteilnehmer wurden angewiesen, jeweils einen Finger für jede Taste zu verwenden (Y-Taste- linker Ringfinger, X-Taste-linker Mittelfinger, C-Taste-linker Zeigefinger, B-Taste-rechter Zeigefinger etc.).

Die verwendete deterministische sechsstellige FOC-Sequenz lag in der Reihenfolge der Farben des Zielreizes (Rot, Grün, Blau, Gelb, Cyan, Magenta). Um eine Konfundierung mit einer motorischen Komponente auszuschließen, wurden die Reaktionsfelder in jedem Durchgang 100 ms vor dem Erscheinen des Zielreizes neu

eingefärbt. Die Zuordnung der Farben zu den einzelnen Reaktionsfeldern war hierbei quasi-randomisiert und mit der Einschränkung ausbalanciert, dass dasselbe Reaktionsfeld nicht in zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen angesteuert werden musste. Durch die randomisierten Positionen der Zielreize und die sich stetig verändernde Einfärbung der Reaktionsfelder verblieb allein die Farbreihenfolge der Zielreize als regelhafte Komponente. Nach der Reaktion der Probanden folgte ein RSI von 300 ms. Anschließend wurden die Reaktionsfelder neu eingefärbt und 100 ms später der nächste Zielreiz präsentiert.

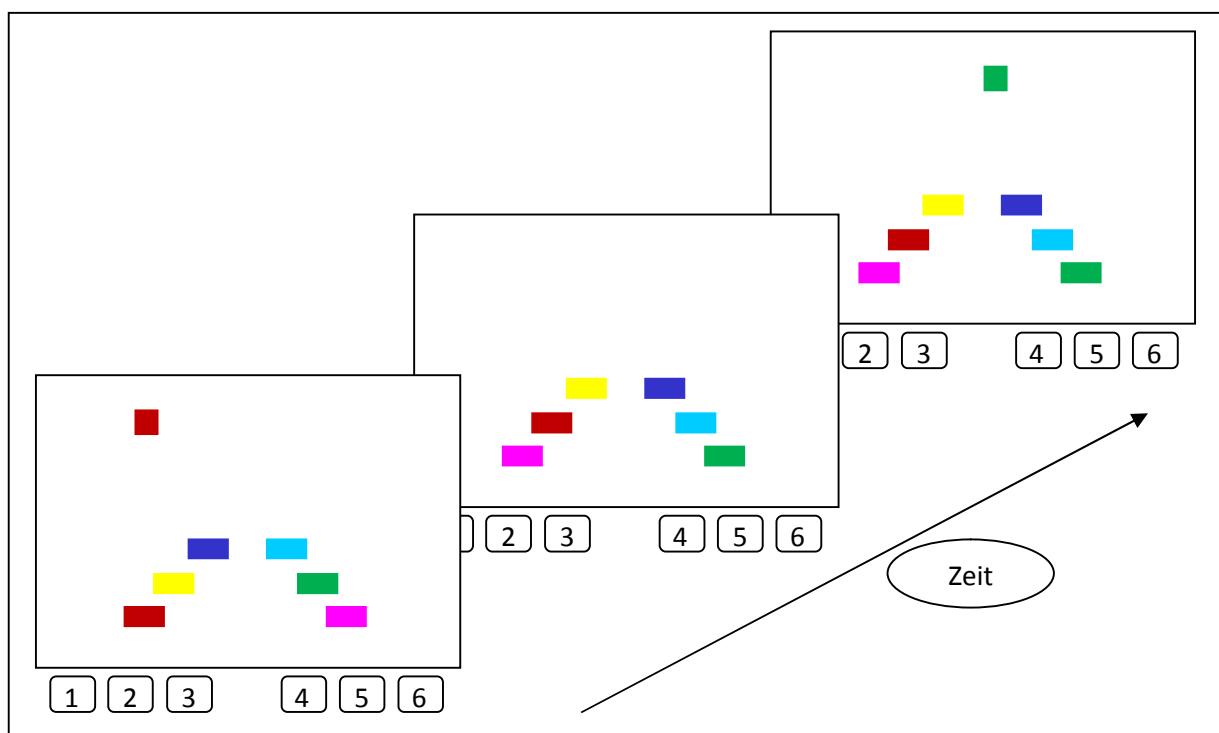


Abbildung 7.1: Versuchsaufbau des ersten Experiments. Dargestellt sind der n-te Durchgang (links), das RSI (mittig) und der n+1-te Durchgang (rechts). Im n-ten Durchgang erscheint ein roter Zielreiz. Dementsprechend soll nun entweder die mit „1“ markierte Taste gedrückt werden, oder der Mousezeiger auf dem roten Reaktionsfeld platziert und ein Linksklick ausgeführt werden. Nach der Reaktion folgt ein RSI von 300 ms, in dem die Reaktionsfelder unverändert bleiben. Dann werden die Reaktionsfelder neu eingefärbt. Im Anschluss wird 100 ms später der nächste Zielreiz präsentiert. Hier wäre nun die Taste „6“ zu drücken bzw. das grüne Reaktionsfeld anzuklicken.

Der Aufbau der Wettaufgabe zur Wissenserfassung war dem Training sehr ähnlich. Der einzige Unterschied zur SRT bestand im Auftreten der Wettdurchgänge. Diese Durchgänge wurden an quasi-randomisierten Positionen der Sequenz eingesetzt,

wobei mindestens zwei und höchstens sechs normale Durchgänge zwischen zwei Wettdurchgängen durchlaufen werden mussten. Anstatt wie im SRT-Training und in den normalen Durchgängen einen Zielreiz zu präsentieren, wurde in den Wettdurchgängen ein Fragezeichen in der Mitte des Bildschirms eingeblendet. Dies signalisierte den Probanden, dass sie mittels der Reaktionsfelder eine Vorhersage für den nächsten Zielreiz abgeben sollten. Nach der Vorhersage sollten die Versuchspersonen entweder einen hohen (50 Cent) oder einen niedrigen (1 Cent) Wetteinsatz auf die Richtigkeit ihrer Vorhersage setzen. Dazu erschienen zwei weitere Reaktionsfelder mit der Beschriftung „1 Cent“ und „50 Cent“ auf dem Bildschirm. Je nach Bedingung sollte entweder eines der Felder mit der Mouse angesteuert oder die markierten Tasten auf der Tastatur (A-Taste für einen hohen Einsatz und die K-Taste für einen niedrigen Einsatz) gedrückt werden. In Abhängigkeit der Korrektheit der Vorhersage wurde der Einsatz entweder auf das Spielkonto der Probanden addiert oder davon subtrahiert. Nach dem Setzen des Einsatzes wurden sowohl die beiden Reaktionsfelder als auch das Fragezeichen ausgeblendet und der nächste Durchgang begann. Um die Lerneffekte in der Wettaufgabe zu minimieren, wurde den Probanden keinerlei Rückmeldung über ihre Leistung auf einer Trial-by-Trial-Basis gegeben. Allerdings wurde den Probanden ihr Kontostand zwischen den Aufgabenblöcken angezeigt. Um Probanden mit äußerst geringer Vorhersageleistung nicht zu sehr zu demotivieren, wurde hierbei ein eventuell negativer Kontostand auf Null gesetzt.

Versuchsdurchführung. Zu Beginn des Experiments erhielten alle Probanden der Experimentalgruppen eine ausführliche Instruktion am Computer. In der Mouse-Bedingung wurden die Eingaben mithilfe einer Computermouse vorgenommen, wohingegen das Experiment in der Tasten-Bedingung mit markierten Tasten der Tastatur gesteuert wurde. Ein Teil der Probanden absolvierte vor der Wissenserfassung in der Wettaufgabe ein SRT-Training, während die übrigen Teilnehmer in den beiden Kontrollbedingungen keinerlei Training durchliefen. Die Probanden wurden dabei dazu angehalten, sowohl schnell als auch akkurat zu reagieren. Nach Abschluss der Instruktion und 20 randomisierten Probedurchgängen der SRT durchliefen die Ver-

suchspersonen in den beiden Experimentalbedingungen 10 Aufgabenblöcke mit jeweils 90 Durchgängen in der SRT. Da die verwendete Sequenz sechsstellig war, wurde sie jeweils 15 Mal pro Aufgabenblock dargeboten. Der Startpunkt der Sequenz war in jedem Block quasi-randomisiert. Die Pausen zwischen den Aufgabenblöcken konnten von den Probanden selbstständig durch Druck einer beliebigen Taste bzw. einen Linksklick mit der Mouse beendet werden. Die Existenz der Sequenz wurde den Versuchspersonen nicht offenbart, damit war für alle Teilnehmer des Experiments die Lernsituation inzidenteller Natur. Die Probanden in den beiden Kontrollgruppen erhielten kein Training, sondern absolvierten lediglich die Wettaufgabe.

Direkt im Anschluss an das SRT-Training wurde die Wettaufgabe zur Wissenserfassung gestartet. Auch dieser Teil des Experiments begann mit einer ausführlichen computergestützten Instruktion. Den Teilnehmern wurde mitgeteilt, dass sie durch korrekte Vorhersagen ihren Gewinn maximieren konnten und dass dieser Gewinn am Ende der Untersuchung ausgezahlt werden würde. Die Versuchspersonen konnten maximal 3 € zusätzlich gewinnen. Die Wettaufgabe enthielt pro Aufgabenblock jeweils zwölf Wettdurchgänge und ca. 40 normale Durchgänge zwischen den Wetten. Die Aufgabe umfasste höchstens vier Aufgabenblöcke, wurde jedoch vorzeitig abgebrochen, sobald ein Teilnehmer den Maximalbetrag erreicht hatte. Aufgrund der Anzahl der Wettdurchgänge pro Aufgabenblock war dies frühestens nach zwei Aufgabenblöcken möglich. Nach Abschluss der Wettaufgabe wurden alle Probanden über den Inhalt des Experiments aufgeklärt.

### 7.1.2 Ergebnisse Experiment 1

SRT. Für jede Versuchsperson in den beiden Experimentalgruppen wurden zunächst die mittlere Reaktionszeit und der Anteil korrekter Reaktionen für jeden Aufgabenblock errechnet. Für die Berechnung der Reaktionszeiten wurden nur korrekte Durchgänge gezählt. Von der ursprünglichen Stichprobe wurden 3 Probanden aufgrund zu vieler Fehler im SRT-Training (mehr als 20 Prozent der Durchgänge fehler-

haft) von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Die Anzahl der verbliebenen Versuchspersonen pro Bedingung ist in der rechten Spalte von Tabelle 7.4 dargestellt. Die gemittelten Reaktionszeiten und Anteile korrekter Eingaben der beiden Experimentalbedingungen pro Aufgabenblock sind in Abbildung 7.2 abgetragen.

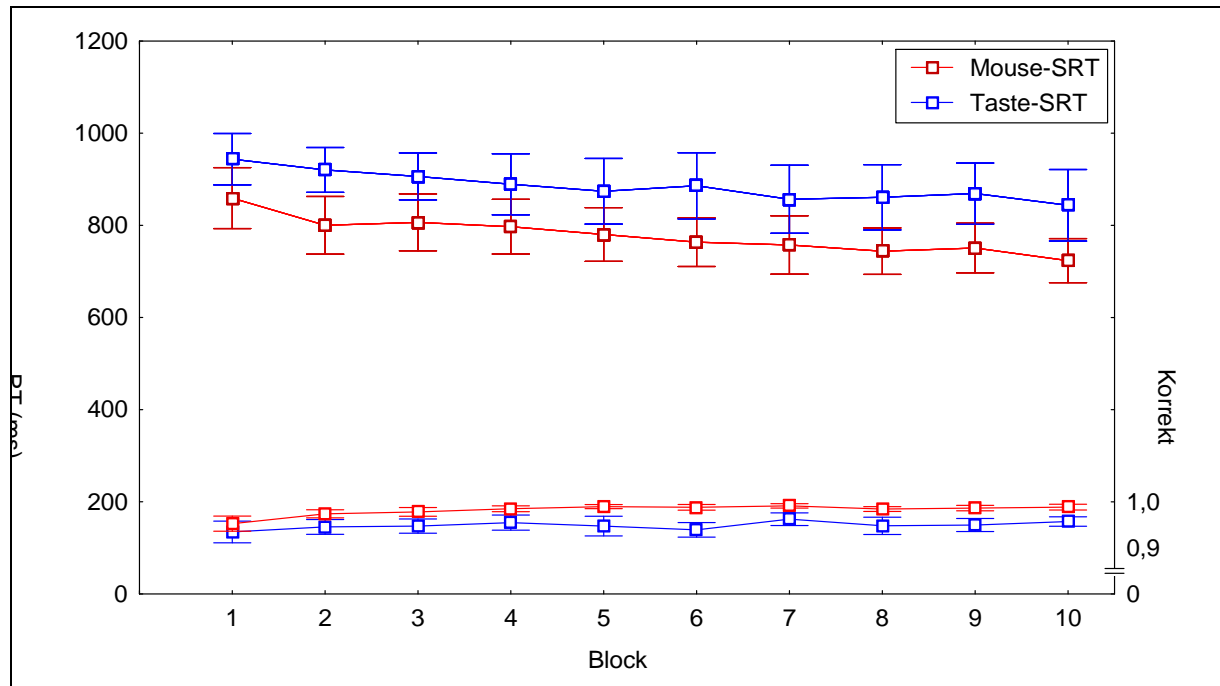


Abbildung 7.2: Reaktionszeiten und Anteile korrekter Eingaben im SRT-Training des ersten Experiments. Auf der Abszisse sind die Aufgabenblöcke des SRT-Trainings abgetragen. Die linke Ordinate zeigt die Reaktionszeiten in Millisekunden. Auf der rechten Abszisse sind die relativen Häufigkeiten korrekter Eingaben abgetragen. Die Fehlerbalken zeigen die Konfidenzintervalle nach Loftus und Masson (1994).

Ein Vergleich der Reaktionszeiten der beiden Experimentalgruppen offenbarte für beide Bedingungen eine Beschleunigung der Reaktionszeiten im Verlauf des Trainings. Eine messwiederholte ANOVA der gemittelten Reaktionszeiten mit Bedingung (Mouse vs Taste) als Gruppierungsvariable und dem Aufgabenblock als messwiederholten Faktor zeigte signifikante Haupteffekte der Bedingung ( $F_{(1,36)} = 9,27$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 116415,30$ ) und des Aufgabenblocks ( $F_{(9,324)} = 14,94$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 3026,00$ ). Die Interaktion zwischen beiden Faktoren erreichte kein signifikantes Niveau ( $F_{(9,324)} = 0,64$ ,  $p = .77$ ,  $MSE = 3026,00$ ). Die Ergebnisse zeigen, dass beide Experimentalbedingungen im Verlauf des Trainings ihre Reaktionszeiten in vergleichbarem Ausmaß verringern konnten.

Eine analoge ANOVA der mittleren Anteile korrekter Reaktionen mit den Faktoren Bedingung (Mouse vs Taste) und Aufgabenblock mit Messwiederholung auf dem letzten Faktor ergab signifikante Haupteffekte für beide Faktoren (Bedingung:  $F_{(1,36)} = 26,18$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,04$ ; Block:  $F_{(9,324)} = 6,67$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = ,000466$ ) jedoch keine bedeutsame Interaktion ( $F_{(9,324)} = 1,45$ ,  $p = .17$ ). Obwohl die Probanden in der Mouse-Bedingung signifikant mehr korrekte Eingaben tätigten, war die Korrektheit in beiden Bedingungen vergleichsweise hoch. Beide Bedingungen reagierten jedoch im Verlauf des Trainings zunehmend im vergleichbaren Ausmaß korrekter.

Wettaufgabe. Zunächst wurde für jeden Probanden der Mittelwert für richtige Vorhersagen über alle Wettdurchgänge gebildet. Ein deskriptiver Vergleich der Mittelwerte der vier Versuchsbedingungen (die beiden Experimentalbedingungen Mouse-Training und Taste-Training, sowie die beiden Kontrollgruppen ohne SRT-Training, Mouse-Kontrolle und Taste-Kontrolle) zeigte eine erhöhte Anzahl korrekter Vorhersagen in der Mouse-Bedingung mit SRT-Training ( $M = 0,50$ ,  $STD = 0,31$ ) im Unterschied zu den übrigen Bedingungen (Taste-Training:  $M = 0,30$ ,  $STD = 0,09$ ; Mouse-Kontrolle:  $M = 0,24$ ,  $STD = 0,07$ ; Taste-Kontrolle:  $M = 0,21$ ,  $STD = 0,09$ ). Eine 2 (Steuerung: Mouse vs Taste)  $\times$  2 (Training: SRT vs Kontrolle) ANOVA der Anteile korrekter Vorhersagen ergab signifikante Haupteffekte für die Faktoren Steuerung ( $F_{(1,73)} = 7,95$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,03$ ), Training ( $F_{(1,73)} = 20,51$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,03$ ), sowie eine bedeutsame Interaktion beider Faktoren ( $F_{(1,73)} = 4,86$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 0,03$ ). Diese in Abbildung 7.3 dargestellten Ergebnisse sprechen dafür, dass die Teilnehmer in den Experimentalbedingungen Wissen über die perzeptuelle Sequenz erwarben und dass die Eingabeart das Ausmaß des erworbenen Wissens moderierte.

Eine Reihe von t-Tests bestätigte diesen Eindruck. Die Probanden in der Mouse-Experimentalbedingung machten erwartungsgemäß signifikant mehr korrekte Vorhersagen in den Wettdurchgängen als die Versuchspersonen in der Mouse-Kontrollbedingung ( $t_{(36)} = 3,58$ ,  $p < .01$ ). Dieser Lerneffekt findet sich ebenfalls für die Probanden mit Tastensteuerung ( $t_{(37)} = 3,17$ ,  $p < .01$ ). Im direkten Vergleich der beiden

Experimentalbedingungen zeigen Teilnehmer der Mouse-Experimentalgruppe mehr Wissen als die Versuchspersonen in der Tasten-Experimentalgruppe ( $t_{(37)} = 2,72$ ,  $p < .01$ ). Wie erwartet unterschieden sich die beiden Kontrollgruppen nicht voneinander ( $t_{(37)} = 0,88$ ,  $p = .38$ ).

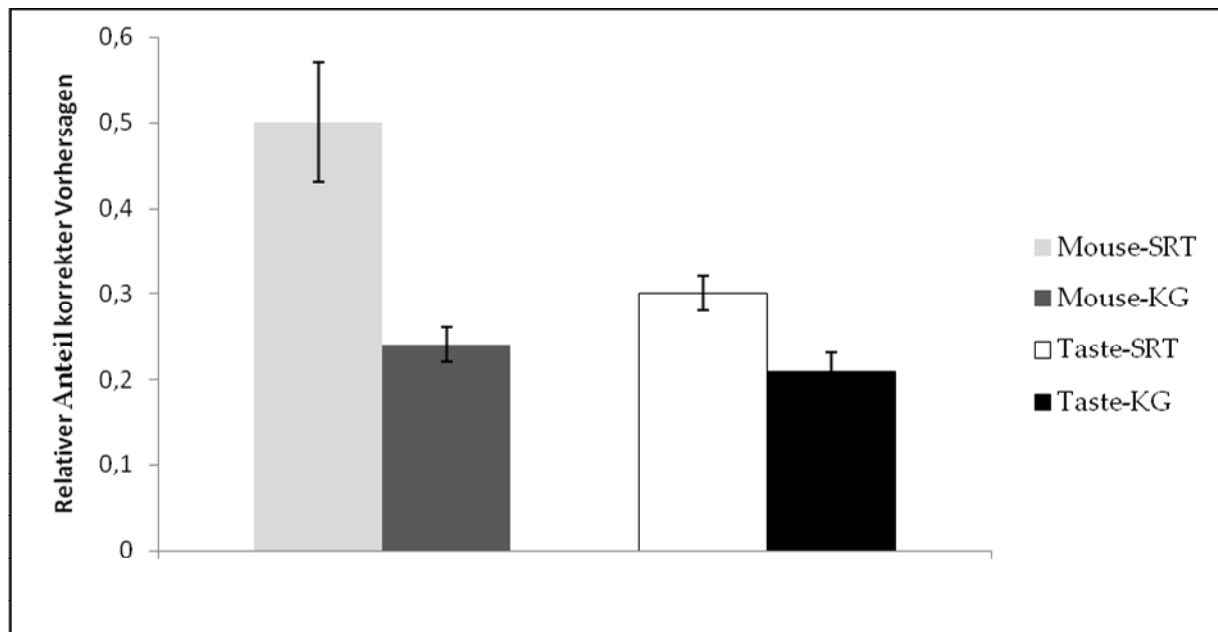


Abbildung 7.3: Relativer Anteil korrekter Vorhersagen in den Wettdurchgängen. Die beiden Experimentalgruppen sind mit „SRT“ bezeichnet. Die beiden Kontrollgruppen ohne Training tragen die Kennzeichnung „KG“. Die Fehlerbalken zeigen den jeweiligen Standardfehler.

Die Betrachtung der korrekten Vorhersagen in der Wettaufgabe lässt jedoch nur eine Aussage über das Ausmaß des erworbenen Wissens zu. Um Schlussfolgerungen über die Natur des Wissens (explizit vs implizit) machen zu können, muss der Zusammenhang zwischen Korrektheit der Vorhersage und strategischer Nutzbarkeit des Wissens herangezogen werden. Hierzu wurden die relativen Häufigkeiten korrekter Vorhersagen unter den Bedingungen „hoher Einsatz“ und „niedriger Einsatz“ verglichen. Dazu wurde für jede Versuchsperson die relative Häufigkeit einer korrekten Vorhersage gefolgt von einem hohen Wetteinsatz berechnet. Analog dazu wurden die Anteile korrekter Reaktionen mit einem anschließenden niedrigen Wetteinsatz errechnet. Im Sinne des Null-Korrelations-Kriteriums (Dienes & Berry, 1997) wird explizites Wissen dann angenommen, wenn die Probanden vermehrt korrekte Vorhersagen tätigen und gleichzeitig hoch setzen. Findet sich hingegen kein Unterschied

zwischen den beiden Häufigkeiten, kann das vorhandene Wissen als implizit eingeschätzt werden. Tabelle 7.4 enthält die gemittelten relativen Häufigkeiten in Abhängigkeit der Einsatzhöhe über die einzelnen Bedingungen.

Eine 2 (Steuerung: Mouse vs Taste) x 2 (Training: SRT vs Kontrolle) x 2 (Einsatz: Hoch vs niedrig) ANOVA mit der Einsatzhöhe als messwiederholten Faktor zeigte signifikante Haupteffekte der Steuerung ( $F_{(1,73)} = 7,99$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,05$ ), des Trainings ( $F_{(1,73)} = 19,63$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,05$ ) und der Einsatzhöhe ( $F_{(1,73)} = 4,27$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,03$ ). Die Interaktion zwischen Steuerung und Training erreichte ebenfalls ein signifikantes Niveau ( $F_{(1,73)} = 4,16$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 0,05$ ). Die dreifache Interaktion zwischen den Faktoren Steuerung, Training und Einsatzhöhe war knapp nicht signifikant ( $F_{(1,73)} = 2,35$ ,  $p = .13$ ,  $MSE = 0,03$ ). Die übrigen beiden Interaktionen waren ebenfalls nicht bedeutsam (beide  $F < 1$ , beide  $p > .45$ ).

Tabelle 7.4: Korrekte Vorhersagen in Abhängigkeit der Einsatzhöhe. Die erste Zahl jeder Zelle zeigt den Mittelwert der Bedingung, die Zahlen in Klammern bilden die Standardabweichungen ab. Die rechte Spalte enthält die Anzahl der Probanden in der jeweiligen Bedingung. Die dahinter stehende Zahl in Klammern zeigt die Anzahl der Probanden mit explizitem Wissen.

|                 | Hoher Einsatz | Niedriger Einsatz | N      |
|-----------------|---------------|-------------------|--------|
| Mouse-SRT       | 0,53 (0,32)   | 0,40 (0,26)       | 20 (6) |
| Taste-SRT       | 0,30 (0,18)   | 0,29 (0,13)       | 18 (0) |
| Mouse-Kontrolle | 0,24 (0,18)   | 0,23 (0,06)       | 19 (0) |
| Taste-Kontrolle | 0,24 (0,16)   | 0,18 (0,12)       | 20 (0) |

Geplante Kontraste für die einzelnen Versuchsbedingungen ergaben einen erhöhten Anteil korrekter Vorhersagen bei hohen Einsätzen in der Mouse-Experimentalgruppe ( $F_{(1,73)} = 6,28$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 0,03$ ). In den anderen Bedingungen ließ sich dieser Effekt nicht beobachten (alle  $F < 1,5$ , alle  $p > .25$ ). Dieser Unterschied zwischen den Bedingungen lässt den Schluss zu, dass in der Mouse-



Experimentalgruppe explizites Wissen vorhanden ist. In den übrigen Bedingungen zeigten die Probanden keine strategische Nutzung ihres Wissens zur Gewinnmaximierung. Folgt man den Überlegungen einiger Autoren wie z.B. Frensch et al. (2003), lässt sich explizites Wissen ebenfalls als ein mögliches Ergebnis einer inzidentellen Lernsituation begreifen. Das Ausmaß des erworbenen expliziten Wissens kann darüber Aufschluss geben, worauf sich der gefundene Wissensvorteil in der Mouse-Experimentalgruppe zurückführen lässt. Eine Möglichkeit der Betrachtung besteht in der Identifikation derjenigen Probanden, die über explizites Wissen über die Sequenz verfügen (Finder im Weiteren) und eine erneute Analyse der Daten ohne diese Probanden. Zur Identifikation der Finder können die Spielkonten der Probanden genutzt werden. Überschreitet ein Teilnehmer den minimal ausgezahlten Betrag von 5 €, nutzt er also sein Wissen zur Gewinnmaximierung, kann auf das Vorhandensein expliziten Wissens geschlossen werden. Die Verteilung der Finder ist in Tabelle 7.4 aufgelistet. Ein Vergleich der Finder-Verteilungen in den beiden Experimentalbedingungen, offenbart eine signifikante Häufung von Probanden mit explizitem Wissen in der Mouse-Bedingung ( $\chi^2_{(1)} = 4,81, p < .05$ ).

Die Ergebnisse einer erneuten Analyse der korrekten Vorhersagen ohne Berücksichtigung der Finder sind in Tabelle 7.5 zusammengefasst. Eine 2 (Steuerung: Mouse vs Taste) x 2 (Training: SRT vs Kontrolle) ANOVA mit den Anteilen korrekter Vorhersagen als abhängiger Variable erbrachte als einzigen signifikanten Haupteffekt einen Einfluss des Trainings ( $F_{(1,67)} = 17,05, p < .01, MSE = 0,01$ ). Der Haupteffekt der Steuerung und die Interaktion beider Faktoren erwiesen sich als nicht bedeutsam (beide  $F < 1$ , beide  $p > .40$ ). Geplante Kontraste zeigten für beide Experimentalbedingungen signifikant mehr Wissen als in der jeweiligen Kontrollbedingung (Mouse:  $F_{(1,67)} = 6,40, p < .05, MSE = 0,01$ ; Taste:  $F_{(1,67)} = 11,31, p < .01, MSE = 0,01$ ). Der Unterschied zwischen den beiden Experimentalbedingungen war nicht länger signifikant ( $F_{(1,67)} < 1, p = .38, MSE = 0,01$ ). Der Wissensvorteil der Mouse-Experimentalbedingung verschwand nach dem Ausschluss der Finder. Um sicherzustellen, dass die verbliebenen Teilnehmer nicht über explizites Wissen verfügten, wurde eine zweite ANOVA mit den Fak-

toren Steuerung (Mouse vs Taste) und Training (SRT vs Kontrolle) sowie der Einsatzhöhe (hoch vs niedrig) als messwiederholtem Faktor durchgeführt. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Bedingungen sind ebenfalls in Tabelle 7.5 zusammengefasst. Bis auf den Haupteffekt des Trainings auf die Vorhersageleistung ( $F_{(1,67)} = 13,10$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,02$ ) zeigten sich hierbei keinerlei bedeutsame Effekte oder Interaktionen (alle  $F < 2$ , alle  $p > .20$ ).

Tabelle 7.5: Korrekte Vorhersagen insgesamt und unter der Bedingung der Einsatzhöhe ohne Finder. Die linke Spalte zeigt den gemittelten Anteil korrekter Vorhersagen über alle Wettdurchgänge. Die nächsten beiden Spalten bilden die relativen Häufigkeiten korrekter Vorhersagen in Abhängigkeit der Einsatzhöhe ab. Die letzte Spalte enthält die Probandenanzahl für jede Bedingung. Zahlen in Klammern zeigen die Standardabweichungen.

|                 | Korrekt insgesamt | Hoher Einsatz | Niedriger Einsatz | N  |
|-----------------|-------------------|---------------|-------------------|----|
| Mouse-SRT       | 0,31 (0,08)       | 0,34 (0,13)   | 0,32 (0,12)       | 14 |
| Taste-SRT       | 0,30 (0,09)       | 0,30 (0,18)   | 0,29 (0,13)       | 18 |
| Mouse-Kontrolle | 0,24 (0,07)       | 0,24 (0,18)   | 0,23 (0,06)       | 19 |
| Taste-Kontrolle | 0,21 (0,09)       | 0,24 (0,16)   | 0,18 (0,12)       | 20 |

### 7.1.3 Interpretation Experiment 1

Um das beschriebene Ergebnismuster leichter interpretieren zu können, erscheint es sinnvoll, die wichtigsten Ergebnisse an dieser Stelle kurz zusammen zu fassen. Im Verlauf des SRT-Trainings beschleunigten beide Experimentalgruppen ihre Reaktionen in vergleichbarem Ausmaß. Da jedoch keine Vergleichsbedingungen mit randomisiertem Material erhoben wurden, kann daraus nicht auf das erworbene Wissen geschlossen werden.

Um sich diesem Problem zu nähern, wurden die korrekten Vorhersagen insgesamt und in Abhängigkeit der Einsatzhöhe betrachtet. Ein erster Vergleich der Versuchsbedingungen zeigte einen Wissensvorteil der beiden Experimentalbedingungen im Vergleich zu den Kontrollgruppen. Die Analyse der korrekten Vorhersagen bei hohen und niedrigen Einsätzen ließ zudem vermuten, dass Probanden in der Mouse-Bedingung über explizites Wissen verfügten. In einer zweiten Analyse wurden diese Probanden identifiziert und ausgeschlossen. Ohne die Finder verschwand der Wissensvorteil der Mouse-Bedingung. Dies lässt darauf schließen, dass der Wissensvorteil der Mouse-Bedingung durch das explizite Wissen der Finder zustande kam. Allerdings zeigten beide Experimentalbedingungen auch nach dem Ausschluss dieser Probanden vergleichbar robuste implizite Lerneffekte.

Diese Ergebnisse sind für die Fragestellungen des Experiments von hoher Relevanz. Das erste Ziel des Experiments war die Untersuchung impliziten Lernens einer rein perzeptuellen Sequenz. Diesbezüglich lassen die Ergebnisse der Wettaufgabe die Schlussfolgerung zu, dass die Probanden in beiden Experimentalbedingungen Wissen über die Sequenz erworben haben, während sich sowohl das Ausmaß als auch die Qualität des Wissens zwischen diesen Bedingungen unterschieden. Die vorliegenden Daten sind mit dem COBALT-Modell (Willingham, 1998, 1999) nur schwer vereinbar. Bei einer Entkopplung der perzeptuellen Regularität von der Motorik sollte nach Willingham kein Sequenzwissen erworben werden. Im Gegensatz dazu lassen sich die Ergebnisse mit den theoretischen Annahmen von Keele und Kollegen (2003) in Einklang bringen. Zwar wurde die Einheitlichkeit des impliziten Lernsystems hier nicht direkt untersucht, jedoch passen die vorliegenden Daten gut zur Annahme eines modularen Aufbaus dieses Systems. Da jedoch der Wissensvorteil durch die Mouse-Steuerung auf den Findern beruhte, lassen sich die Daten nur dann im Sinne des Modells interpretieren, wenn man eine Beteiligung des multidimensionalen Moduls annimmt, da nur die Inhalte dieses Moduls bewusstseinsfähig sein sollten (siehe Kapitel 6).

Die zweite Fragestellung betraf die Rolle der Aufmerksamkeitsausrichtung bei der Entstehung der Aufgaben- und Sequenzrepräsentation. Der gefundene Wissensvorteil der Probanden in der Mouse-Experimentalbedingung lässt vermuten, dass die Aufmerksamkeitsausrichtung im vorliegenden Experiment durch die Eingabemethode manipuliert wurde und so verschiedene Sequenz- und Aufgabenrepräsentationen in den verschiedenen Bedingungen entstanden sind. Ähnliche Ergebnisse wurden bereits von anderen Autoren berichtet (Gaschler et al., submitted; Wenke & Frensch, 2005). Dies spricht für eine selektive Natur impliziten Lernens, da angenommen werden kann, dass die Aufgabenrepräsentation maßgeblich dafür ist, welche Regularitäten in der Umwelt gelernt werden. Für diese Interpretation ist jedoch die zugrundeliegende theoretische Vorstellung zum Zusammenhang zwischen explizitem und implizitem Lernen bedeutsam. Die vorliegende Arbeit orientiert sich diesbezüglich an der UEH (z. B. Frensch et al., 2003). Legt man diese Annahme zugrunde, lässt sich explizites Wissen als mögliches Ergebnis des Zusammenspiels impliziter und expliziter Prozesse in einer inzidentellen Lernsituation verstehen. Die beobachtete Häufung von Findern in der Mouse-Experimentalbedingung ist demnach keine Störvariable, die es zu kontrollieren gilt, sondern ein Indikator für das Wirken impliziter Lernprozesse. Vor diesem Hintergrund und in Anlehnung an das Vorgehen von Haider et al. (in press), lässt sich ein qualitativer Unterschied der Aufgabenrepräsentation, hervorgerufen durch die unterschiedlichen Eingabemethoden, annehmen, da nur bei der Verwendung einer Mouse explizites Wissen über die Sequenz erworben wurde.

Jedoch ist mindestens eine weitere Alternativerklärung für das vorhandene Datenmuster denkbar. Anstatt einer unterschiedlichen Aufmerksamkeitsausrichtung könnten auch unterschiedliche Anforderungen an kognitive Kapazitäten in den beiden Experimentalbedingungen der Grund für den Wissensvorteil bei der Eingabe mittels Mouse sein. Diese Alternativerklärung wurde im folgenden Experiment untersucht.

## 7. 2 Experiment 2: Ausschluss der Kapazitätsannahme

In Experiment 1 wurde die Möglichkeit des impliziten Lernens einer rein perzeptuellen Regularität demonstriert. Das Ausmaß des erworbenen Wissens variierte dabei in Abhängigkeit der verwendeten Eingabemethode. Eine mögliche Erklärung liegt in den entstandenen unterschiedlichen Aufgabenrepräsentationen. Allerdings ist auch eine Überlastung kognitiver Ressourcen als mögliche Erklärung der Ergebnisse denkbar. Diese Überlastung könnte durch die unterschiedlichen Anforderungen der Eingabemethoden zustande gekommen sein. Die Reaktion des Zielreizes bei der Verwendung der Mouse erfordert die Transformation der relevanten Dimension des Zielreizes (Farbe) in die räumliche Lokation des entsprechenden Reaktionsfeldes. Bei der Verwendung der Tastatur muss zunächst ebenfalls die Farbe des Zielreizes mit der Position des geforderten Reaktionsfeldes abgeglichen werden. Zusätzlich muss jedoch noch eine Transformation der räumlichen Lokation in den entsprechenden Effektor (Hand und Finger) vorgenommen werden. Diese zusätzliche Transformation ist bei der Verwendung der Mouse nicht vonnöten.

Folgt man dieser Überlegung, besteht die Möglichkeit, dass die Aufgabe bei der Verwendung einer Mouse schlichtweg einfacher war und sich das geringere Ausmaß des erworbenen Wissens bei der Tastatur auf eine Überlastung der kognitiven Ressourcen zurückführen lässt. Sollten die gefundenen Unterschiede jedoch tatsächlich durch eine unterschiedliche Aufmerksamkeitsausrichtung entstanden sein, sollte es durch eine zusätzliche Manipulation der Aufmerksamkeitsausrichtung auf die visuelle Modalität möglich sein, größere Lerneffekte bei der Verwendung einer Tastatursteuerung zu erzielen. Um dies zu erreichen, wurden im zweiten Experiment unter anderem Zielreize mit verschiedenen Formen verwendet und mit einer Tastatursteuerung kombiniert. In einer Bedingung (Form-Farbe) wurde der jeweilige Zielreiz zunächst farblos präsentiert und nach einiger Zeit eingefärbt. In der zweiten Experimentalbedingung (Nur-Form) entfiel die Einfärbung und die Teilnehmer mussten anhand einer festen Zuordnung der Formen zu den Farben der Reaktionsfelder auf den Reiz reagieren. Eine dritte Bedingung (Nur Farbe) diente als Kontrollbedingung

und war nahezu identisch mit der Tasten-Experimentalbedingung im ersten Experiment. Die Regularität lag auch in diesem Experiment in der Farbreihenfolge und war vollständig von der Motorik entkoppelt.

Ist der im ersten Experiment gefundene Unterschied auf eine Kapazitätsüberlastung zurückzuführen, sollte sich in der Nur-Form-Bedingung signifikant weniger Wissen über die Sequenz finden lassen als in der Kontrollbedingung, da hier eine zusätzliche Transformation (Zuordnung der Form des farblosen Zielreizes zur entsprechenden Farbe) für eine korrekte Reaktion notwendig ist. Liegen die Effekte hingegen in der Aufmerksamkeitsausrichtung begründet, sollte der umgekehrte Effekt zu beobachten sein, da durch die verschiedenen Formen eine verstärkte Beachtung der visuellen Modalität zu erwarten ist. Für die zweite Experimentalbedingung (Form-Farbe) sind ähnliche Effekte wahrscheinlich. Dies gilt jedoch nur dann, wenn der Zielreiz bereits vor der Einfärbung für die Initiierung einer Reaktion genutzt wird. Warten die Probanden hingegen auf die Präsentation der jeweiligen Farbe und nutzen die Form nicht zur Präparation einer Reaktion, sind keine Unterschiede im Vergleich zur Kontrollbedingung zu erwarten.

### 7.2.1 Experiment 2: Methode

Stichprobe. Insgesamt nahmen 65 Studierende der Universität zu Köln an diesem Experiment teil. Die Stichprobe bestand aus 49 Frauen und 16 Männern im Alter zwischen 19 und 50 Jahren ( $M = 23,85$ ,  $STD = 3,84$ ). Die Probanden wurden randomisiert auf die drei Bedingungen des Experiments (Nur-Farbe, Form-Farbe, Nur-Form) aufgeteilt. Die Vergütung der Teilnahme war identisch mit der in Experiment 1.

Material. Der Versuchsaufbau wies starke Ähnlichkeiten zur in Experiment 1 verwendeten Versuchsanordnung auf, weshalb hier nur auf die wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungen eingegangen wird. In der Nur-Farbe-Bedingung wurden die gleichen Zielreize wie in Experiment 1 verwendet, welche jedoch für 380 ms dargeboten wurden. Den Probanden in der Form-Farbe-Bedingung

wurde in jedem Durchgang zunächst eine von sechs verschiedenen farblosen Formen („Achteck“, „Polarstern“, „Welle“, „Explosion“, „Kreuz“, „5-armiger Stern“) für 300 ms präsentiert. Nach diesem Zeitintervall wurden die Stimuli für 80 ms in einer der bereits in Experiment 1 genutzten Farben eingefärbt. Die Zuordnung zwischen Formen und Farben war dabei über das gesamte SRT-Training hinweg konstant („Achteck“-Blau, „Polarstern“-Gelb, „Welle“-Grün, „Explosion“-Rot, „Kreuz“-Magenta, „5-armiger Stern“-Cyan). In der Nur-Form-Bedingung erschien jeweils eine der farblosen Formen für 380 ms. Dadurch mussten die Probanden in dieser Bedingung die Zuordnung von Formen und Farben erinnern. Im Anschluss an die Reaktion der Teilnehmer begann nach einem RSI von 100 ms der nächste Durchgang mit der Präsentation des nächsten Zielreizes und der gleichzeitigen Neuordnung der Reaktionsfelder. Die Notwendigkeit der Anpassung des RSIs ergab sich aus einer möglichst hohen Vergleichbarkeit der Durchgänge zu denen des ersten Experiments, da die Gesamtdauer der Durchgänge in beiden Experimenten möglichst gleich sein sollte. Durch die längere Präsentationsdauer war in diesem Fall eine Verkürzung des RSIs notwendig. Wie schon im vorangegangenen Experiment beschränkte sich die Regelmäßigkeit des Stimulusmaterials auf die Reihenfolge der Zielreize (Farben bzw. Formen). Die Entkopplung von der motorischen Komponente wurde durch die randomisierte Lokation der Zielreize in der oberen Bildschirmhälfte und die quasirandomisierte Zuordnung der Farben zu den einzelnen Reaktionsfeldern in jedem Durchgang realisiert. Alle Probanden bearbeiteten die SRT und die Wettaufgabe mit den gleichen Tasten wie in Experiment 1.

Die direkt im Anschluss an das SRT-Training zu absolvierende Wettaufgabe war mit derjenigen aus der ersten Untersuchung, mit Ausnahme der Länge des RSIs und der Präsentationsdauer, identisch. Da sich Wettaufgabe und SRT im zweiten Experiment möglichst ähnlich sein sollten, wurden dieselben Zeitintervalle in beiden Aufgaben verwendet.

Versuchsdurchführung. Das Experiment begann mit einer ausführlichen computergestützten Instruktion für alle Teilnehmer. In der Instruktion wurde betont, sowohl schnell als auch akkurat zu reagieren. In der Form-Farbe- und in der Nur-Form-Bedingung enthielt die Instruktion zudem die Zuordnung der Formen zu den jeweiligen Farben und den Hinweis, dass diese Zuordnung für das gesamte SRT-Training konstant war. Im Anschluss an die Instruktion begann die SRT, welche 10 Aufgabenblöcke mit jeweils 90 Durchgängen umfasste. Vor dem eigentlichen Training durchliefen alle Probanden 20 Durchgänge mit randomisiertem Stimulusmaterial, um sich an die Aufgabe zu gewöhnen. Da die verwendete Sequenz identisch mit derjenigen aus der ersten Untersuchung war, wiederholte sich die Regularität auch hier 15 Mal in jedem Aufgabenblock. Der Startpunkt der Sequenz wurde in jedem Aufgabenblock quasi-randomisiert ausgewählt. Das Vorhandensein einer regelhaften Komponente im Stimulusmaterial wurde weder in der Instruktion, noch durch den Versuchsleiter erwähnt. Die Prozedur der nach der SRT folgenden Wettaufgabe war mit dem Ablauf der Wettaufgabe in Experiment 1 identisch.

### 7.2.2 Experiment 2: Ergebnisse

SRT. Die Aggregation der Reaktionszeitdaten wurde wie in Experiment 1 durchgeführt. Aufgrund zu hoher Fehlerraten (siehe Experiment 1) mussten 6 Probanden von der weiteren Analyse ausgeschlossen werden. Die Anzahl der verbliebenen Versuchspersonen pro Bedingung sind der rechten Spalte von Tabelle 7.7 zu entnehmen. Abbildung 7.6 zeigt die gemittelten Reaktionszeiten und Anteile korrekter Reaktionen über alle Aufgabenblöcke.

Eine 3 (Bedingung) x 10 (Aufgabenblock) ANOVA der durchschnittlichen Reaktionszeiten mit Messwiederholung auf dem letzten Faktor zeigte signifikante Effekte der Bedingung ( $F_{(2,56)} = 45,55$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 242527,90$ ) und des Aufgabenblocks ( $F_{(9,504)} = 19,87$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 16911,00$ ) sowie eine signifikante Interaktion ( $F_{(18,504)} = 7,67$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 16911,0$ ).



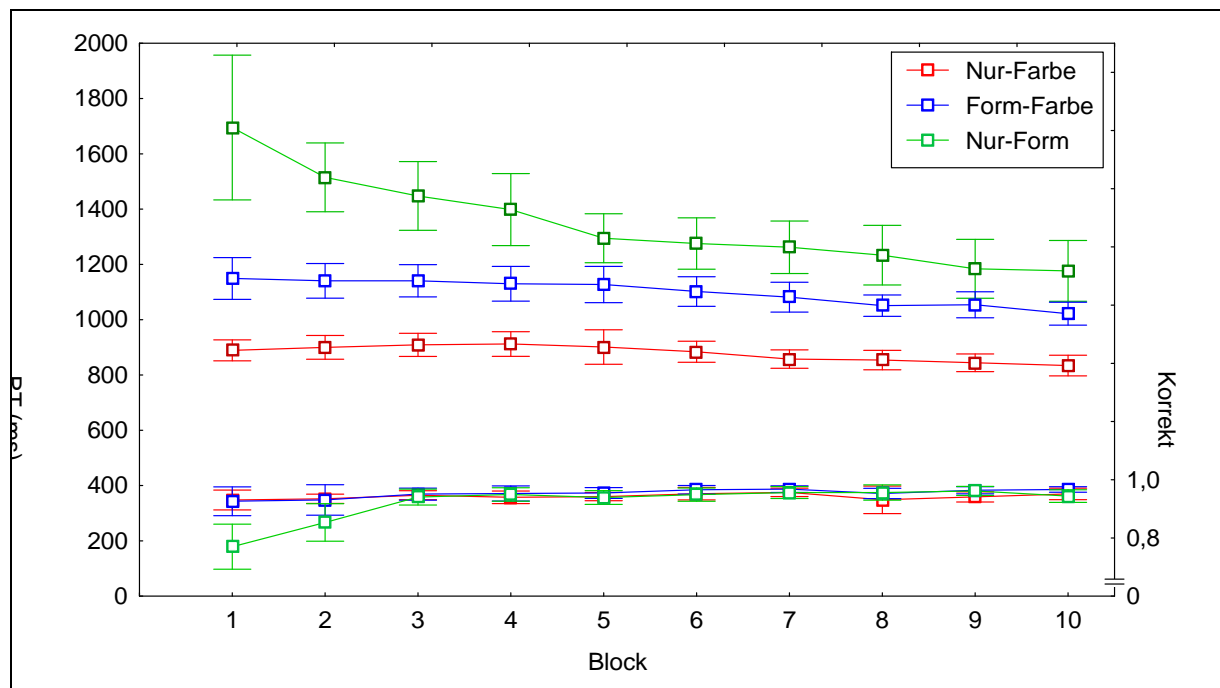


Abbildung 7.6: Reaktionszeiten und Anteile korrekter Eingaben im SRT-Training des zweiten Experiments. Auf der Abszisse sind die Aufgabenblöcke des SRT-Trainings abgetragen. Die linke Ordinate zeigt die Reaktionszeiten in Millisekunden. Auf der rechten Abszisse sind die relativen Häufigkeiten korrekter Eingaben abgetragen. Die Fehlerbalken zeigen die Konfidenzintervalle nach Loftus und Masson (1994).

Mithilfe geplanter Kontraste wurden die Reaktionszeiten im ersten und letzten Aufgabenblock in jeder Bedingung verglichen, um das Ausmaß der Beschleunigung zu untersuchen. In der Nur-Farbe-Bedingung war die Beschleunigung der Reaktionszeiten gerade nicht signifikant ( $F_{(1,56)} = 2,60$ ,  $p = .11$ ). Die Verkürzung der Reaktionszeiten in der Form-Farbe-Bedingung war ebenfalls nicht bedeutsam ( $F_{(1,56)} = 0,51$ ,  $p = .48$ ). Nur in der Nur-Form-Bedingung waren die Probanden dazu in der Lage, ihre Reaktionszeiten im Training bedeutend zu verkürzen ( $F_{(1,56)} = 45,31$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 59328$ ). Ein zusätzlicher Vergleich zwischen dieser Bedingung und den anderen beiden Versuchsgruppen, ergab eine signifikant größere Beschleunigung der Probanden in der Nur-Form-Bedingung, im Vergleich zu den anderen beiden Bedingungen ( $F_{(1,56)} = 20,33$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 59328$ ). Da die Probanden in dieser Experimentalbedingung zusätzlich zur Reaktion auf den Stimulus die Zuordnung zwischen Formen und Farben memorieren und anwenden mussten, ist es wenig erstaunlich, dass ihre Reaktionszeiten zu Beginn auf einem höheren Niveau lagen und es so zu einer stärkeren Be-

schleunigung kam. Ein Kontrast zwischen der Nur-Farbe- und der Form-Farbe-Bedingung offenbarte einen konstanten Geschwindigkeitsvorteil der Nur-Farbe-Bedingung über alle Aufgabenblöcke ( $F_{(1,56)} = 19,68$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 242528$ ). Dies gab erste Hinweise darauf, dass die Probanden in der Form-Farbe-Bedingung eventuell den zunächst farblosen Zielreiz nicht für eine Reaktionsvorbereitung nutzten, sondern auf die Einfärbung des Reizes warteten. Sollte dies der Fall gewesen sein, sollten sich die Vorhersageleistungen der beiden Bedingungen in der Wettaufgabe nicht wesentlich voneinander unterscheiden, da in beiden Bedingungen augenscheinlich ausschließlich die Farbe berücksichtigt wurde.

Eine analoge ANOVA der gemittelten Anteile korrekter Reaktionen mit den Faktoren Bedingung und Aufgabenblock mit Messwiederholung auf dem letzten Faktor ergab bedeutsame Haupteffekte für beide Faktoren (Bedingung:  $F_{(2,56)} = 3,46$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 0,15$ ; Block:  $F_{(9,504)} = 11,51$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,01$ ) sowie eine hochsignifikante Interaktion beider Faktoren  $F_{(18,504)} = 5,11$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,01$ ). Wie Abbildung 7.6 zu entnehmen ist, unterschied sich die Nur-Form-Bedingung besonders in den ersten beiden Aufgabenblöcken von den anderen beiden Bedingungen. Daher wurden Post-hoc-Vergleiche der ersten und letzten beiden Aufgabenblöcke für jede Versuchsgruppe berechnet. In der Nur-Form-Bedingung machten die Probanden in den ersten beiden Blöcken bedeutend weniger korrekte Eingaben ( $F_{(2,56)} = 38,31$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 0,01$ ). Dieser Effekt ließ sich in den anderen Versuchsgruppen nicht beobachten (Nur-Farbe:  $F_{(2,56)} = 2,62$ ,  $p = .12$ ; Form-Farbe:  $F_{(2,56)} = 0,34$ ,  $p = .55$ ). Ein zusätzlicher Vergleich der Bedingungen Nur-Farbe und Form-Farbe über alle Aufgabenblöcke erbrachte keine bedeutsamen Unterschiede ( $F_{(2,56)} = 0,74$ ,  $p = .39$ ). Diese Ergebnisse passen zu den Daten der Reaktionszeitanalyse. Die geringere Korrektheit der Nur-Form-Gruppe zu Beginn des Trainings lässt sich als Effekt der zusätzlichen Beanspruchung durch das Memorieren der Form-Farb-Zuordnung interpretieren. Das Ausbleiben des Effekts in den späteren Aufgabenblöcken muss jedoch nicht notwendigerweise bedeuten, dass diese zusätzliche Beanspruchung nur in den ersten beiden Aufgabenblöcken wirksam war, da die Reaktionszeiten in der Nur-Form-Bedingung auch in den letzten acht

Aufgabenblöcken bedeutend höher war als in den anderen beiden Versuchsbedingungen ( $F_{(1,56)} = 55,32$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 174991$ ).

Wettaufgabe. Da die Auswertung der Vorhersageleistungen im vorliegenden Experiment analog zu der in der ersten Untersuchung ist, sind die Mittelwerte und Standardabweichungen aller Probanden in Tabelle 7.7 zusammengefasst.

Tabelle 7.7: Vorhersageleistungen im 2. Experiment. Die ersten Zahlen jeder Zelle geben die gemittelten Vorhersageleistungen über alle Aufgabenblöcke wieder. Die Zahlen in Klammern zeigen die dazugehörigen Standardabweichungen. Die erste Spalte zeigt die relative Häufigkeit korrekter Vorhersagen. In den beiden folgenden Spalten sind die relativen Häufigkeiten korrekter Vorhersagen in Abhängigkeit der Einsatzhöhe abgetragen. Die Zahl in Klammern in der letzten Spalte gibt die Anzahl der Finder an.

|            | Vorhersageleistungen | Hoher Einsatz | Niedriger Einsatz | N       |
|------------|----------------------|---------------|-------------------|---------|
| Nur-Farbe  | 0,43 (0,29)          | 0,48 (0,33)   | 0,22 (0,19)       | 19 (4)  |
| Form-Farbe | 0,43 (0,27)          | 0,48 (0,32)   | 0,24 (0,14)       | 20 (5)  |
| Nur-Form   | 0,62 (0,30)          | 0,66 (0,29)   | 0,35 (0,39)       | 20 (11) |

Eine ANOVA mit den Versuchsbedingungen als unabhängiger und der mittleren Vorhersageleistung als abhängiger Variablen zeigte einen marginal signifikanten Effekt der Bedingung ( $F_{(2,56)} = 2,96$ ,  $p = .06$ ,  $MSE = 0,83$ ). Zusätzliche Kontraste ergaben einen Wissensvorteil der Nur-Form-Bedingung sowohl gegenüber der Nur-Farbe-Bedingung ( $F_{(1,56)} = 4,35$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 0,83$ ) als auch gegenüber der Form-Farbe-Bedingung ( $F_{(1,56)} = 4,48$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 0,83$ ). Eine zweite 3 (Bedingung) x 2 (messwiederholt: Einsatzhöhe) ANOVA erbrachte Hinweise auf explizites Wissen (mehr korrekte Vorhersagen bei hohem Einsatz) in allen drei Bedingungen. Der Haupteffekt der Versuchsbedingung erreichte ein marginal signifikantes Niveau ( $F_{(2,56)} = 3,10$ ,  $p = .05$ ,  $MSE = 0,92$ ), während der Unterschied in der Anzahl korrekter Vorhersagen in Abhängigkeit der Einsatzhöhe hochsignifikant war ( $F_{(1,56)} = 28,99$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,77$ ). In allen Bedingungen wurden bedeutend häufiger korrekte Vorhersagen bei

hohem Einsatz als bei niedrigem Einsatz getätigt. Der Interaktionskontrast war nicht bedeutsam ( $F_{(2,56)} = 0,15$ ,  $p = .86$ ,  $MSE = 0,08$ ). Der deskriptive Unterschied der Finder-Verteilungen zwischen den Bedingungen war bedeutsam ( $\chi^2_{(2)} = 6,08$ ,  $p < .05$ ). In der Nur-Form-Bedingung erwarben bedeutend mehr Probanden explizites Wissen. Analog zur Auswertung der ersten Untersuchung, wurden auch in dieser Analyse die Finder anhand der Spielkonten identifiziert und die Daten nach Ausschluss dieser Probanden erneut ausgewertet. Die Mittelwerte und Standardabweichungen der Vorhersagen unter Ausschluss der Finder sind in Tabelle 7.8 abgetragen.

Tabelle 7.8: Vorhersageleistungen im 2. Experiment unter Ausschluss der Finder. Die ersten Zahlen jeder Zelle geben die gemittelten Vorhersageleistungen über alle Aufgabenblöcke wieder. Die Zahlen in Klammern zeigen die dazugehörigen Standardabweichungen. Die erste Spalte zeigt die relative Häufigkeit korrekter Vorhersagen. In den beiden folgenden Spalten sind die Anteile korrekter Vorhersagen in Abhängigkeit der Einsatzhöhe abgetragen.

|            | Vorhersageleistungen | Hoher Einsatz | Niedriger Einsatz | N  |
|------------|----------------------|---------------|-------------------|----|
| Nur-Farbe  | 0,29 (0,07)          | 0,34 (0,21)   | 0,24 (0,10)       | 15 |
| Form-Farbe | 0,29 (0,08)          | 0,35 (0,23)   | 0,24 (0,15)       | 15 |
| Nur-Form   | 0,34 (0,11)          | 0,39 (0,16)   | 0,20 (0,14)       | 9  |

Eine Varianzanalyse der mittleren Prädiktionsleistungen unter Ausschluss der Finder ergab keinen signifikanten Effekt der Bedingung ( $F_{(2,36)} = 1,17$ ,  $p = .32$ ,  $MSE = 0,01$ ). Eine weitere 3 (Bedingung) x 2 (messwiederholt: Einsatzhöhe) ANOVA ergab einen bedeutsamen Haupteffekt der Einsatzhöhe ( $F_{(1,36)} = 11,40$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,03$ ), was auch nach Ausschluss der Finder auf das Vorhandensein expliziten (Teil)-Wissens schließen lässt. Die übrigen Effekte waren nicht signifikant (beide  $F < 1$ , beide  $p > .70$ ). Ein Vergleich der Prädiktionsleistungen aller Probanden mit dem Zufallsniveau von .2, ergab für alle Bedingungen bedeutsame implizite Lerneffekte (alle  $p < .01$ ).

Die Existenz residualen expliziten Wissens in allen Bedingungen in der vorangegangenen Analyse, stellt ein potentielles Problem dar, da Versuchspersonen mit explizi-

tem Wissen im Vorfeld der Analyse ausgeschlossen wurden. Die höheren Anteile korrekter Vorhersagen bei hohen Einsätzen lassen sich möglicherweise auf das verwendete Maß zurückführen. Da die Häufigkeiten der korrekten Wetten an der Grundgesamtheit aller hohen Einsätze relativiert wurden, ist das Maß anfällig für potentielle Verzerrungen durch eine niedrige Grundgesamtheit. Es ist beispielsweise denkbar, dass eine Versuchsperson nur einmal hoch setzt und in diesem Durchgang zudem auch eine korrekte Vorhersage tätigt und so einen Wert von 1,0 erreicht. Da es fraglich ist, ob es sich in dieser hypothetischen Situation um explizites Wissen handelt, wurde eine Gewichtung durch die Häufigkeit hoher Einsätze insgesamt vorgenommen. Dazu wurden die relativen Häufigkeiten korrekter Vorhersagen bei hohen Einsätzen mit dem Anteil hoher Einsätze insgesamt multipliziert. Eine analoge Prozedur wurde für die niedrigen Einsätze durchgeführt. Durch die Multiplikation mit dem Anteil hoher Einsätze insgesamt wird die oben dargestellte Situation vermieden, beziehungsweise in ihrem Effekt abgeschwächt. Die so gewichteten Daten unter Ausschluss der Finder sind in Tabelle 7.9 angegeben.

Eine 3 (Bedingung) x 2 (messwiederholt: Einsatzhöhe) ANOVA ergab keinerlei signifikante Haupteffekte (Bedingung:  $F_{(2,36)} = 1,16$ ,  $p = .32$ ,  $MSE = 0,01$ ; Einsatzhöhe: ( $F_{(1,36)} = 2,68$ ,  $p = .11$ ,  $MSE = 0,02$ ) und auch keine signifikante Interaktion der beiden Faktoren ( $F_{(2,36)} = 2,03$ ,  $p = .15$ ,  $MSE = 0,02$ ). Der deskriptive Unterschied in der Nur-Form-Bedingung war unter Verwendung einer  $\alpha$ -Korrektur nicht bedeutsam ( $t_{(8)} = 2,18$ ,  $p = .06$ ), allerdings lässt sich dies auch durch die niedrige Probandenzahl und der daraus resultierenden geringeren Power erklären ( $1 - \beta = 0,36$ ).

In einer abschließenden Analyse wurde die Nur-Farbe-Bedingung der Taste-Experimentalbedingung aus dem ersten Experiment gegenübergestellt, um den Effekt der veränderten Zeitintervalle zu überprüfen. Dabei ließ sich ein marginal bedeutsamer Vorteil der Nur-Farbe-Bedingung in der Vorhersageleistung beobachten ( $F_{(1,37)} = 3,93$ ,  $p = .05$ ,  $MSE = 0,04$ ). Dieser Performanzvorteil verschwand jedoch nach dem Ausschluss der Finder ( $F_{(1,37)} < 1$ ,  $p = .61$ ).

Tabelle 7.9: Gewichtete Vorhersageleistungen Experiment 2. Die ersten Zahlen jeder Zelle geben die gewichteten Vorhersageleistungen (Anteil korrekter Vorhersagen bei hohem bzw. niedrigem Einsatz multipliziert mit den relativen Häufigkeiten hoher bzw. niedriger Einsätze insgesamt) über alle Aufgabenblöcke wieder. Die Zahlen in Klammern zeigen die dazugehörigen Standardabweichungen. Die linke Spalte zeigt die gewichteten Anteile korrekter Vorhersagen bei hohen Einsätzen, die rechte Spalte bei niedrigen.

|            | Hoher Einsatz * Häufigkeit hoher Einsätze | Niedriger Einsatz * Häufigkeit niedriger Einsätze |
|------------|---|---|
| Nur-Farbe  | 0,15 (0,11)                               | 0,14 (0,07)                                       |
| Form-Farbe | 0,14 (0,10)                               | 0,14 (0,11)                                       |
| Nur-Form   | 0,23 (0,14)                               | 0,09 (0,08)                                       |

### 7.2.3 Experiment 2: Interpretation

Eine erste Analyse der Reaktionszeitdaten und Fehlerwerte im SRT-Training zeigte, dass nur die Versuchsteilnehmer in der Nur-Form-Bedingung ihre Reaktionen im Verlauf der Aufgabenblöcke beschleunigen konnten. Eine Auswertung der Korrektheit der Reaktionen ergab eine bedeutsam höhere Fehlerrate in dieser Bedingung zu Beginn des SRT-Trainings. Die verstärkte Beschleunigung lässt sich durch die relativ hohe Antwortlatenz in dieser Bedingung zu Beginn des Trainings erklären. Ebenso wie die anfänglich erhöhte Fehlerrate sprechen diese verlängerten Latenzen für eine besondere Beanspruchung durch die Aufgabe. Eine Betrachtung der Reaktionszeiten der beiden übrigen Versuchsbedingungen ließ Zweifel an der Wirksamkeit der Manipulation in der Form-Farbe-Bedingung aufkommen, da die im Vergleich zur Nur-Farbe-Bedingung stark erhöhten Reaktionszeiten als Zeichen dafür interpretiert werden können, dass der farblose Formzielreiz häufig nicht für eine Reaktionsvorbereitung genutzt und stattdessen erst auf den Farbreiz reagiert wurde.

Die Auswertung der Vorhersageleistungen in der Wettaufgabe bestätigt diese Vermutung, da sich die Versuchsteilnehmer in der Form-Farbe- und in der Nur-Farbe-

Bedingung diesbezüglich nicht voneinander unterschieden. Im Vergleich dazu zeigten die Probanden in der Nur-Form-Bedingung mehr Wissen. Ebenso wie im ersten Experiment ließ sich dieser Wissensvorteil auch auf eine erhöhte Anzahl von Findern in dieser Bedingung zurückführen. Allerdings zeigten die Versuchspersonen in allen Bedingungen auch nach dem Ausschluss der Finder implizites Wissen. Ein Wissensvorteil ließ sich auch im Vergleich der Nur-Farbe-Bedingung mit der Tasten-Experimentalbedingung aus dem ersten Experiment aufzeigen. Jedoch verschwand auch dieser Vorteil nach Ausschluss der Finder.

In Anbetracht dieser Ergebnisse scheint die Ausgangsfrage der zweiten Untersuchung klar zu beantworten zu sein. Obwohl die Probanden in der Nur-Form-Bedingung durch die zusätzliche Transformation des farblosen Formreizes in die entsprechende Farbe des Reaktionsfeldes eine erhöhte Beanspruchung erfuhren, zeigten sie mehr Wissen in der Wettaufgabe. Eine Erklärung der Dissoziation zwischen Mouse- und Tasten-Eingabe in der ersten Untersuchung durch ein Kapazitätsproblem bei Verwendung einer Tastatur ist nur schwerlich mit den vorliegenden Daten zu vereinbaren. Das Ergebnismuster spricht viel eher für einen Effekt der unterschiedlichen Aufmerksamkeitsausrichtung durch die genutzte Eingabemethode.

Neben diesem Effekt ließ sich im zweiten Experiment jedoch auch vermehrt explizites Wissen im Vergleich zur Tasten-Experimentalgruppe im ersten Experiment finden. Da sich diese Bedingung von der Nur-Farbe-Bedingung nur durch die Länge der Präsentationszeit (Experiment 1: 80 ms, Experiment 2: 380 ms) und des RSIs (Experiment 1: 300, Experiment 2: 100 ms) unterschied, muss der Wissensvorteil mit diesen Intervallen in Verbindung stehen. Ein Effekt der Länge des RSIs wurde bereits von anderen Autoren untersucht (Destrebecqz & Cleeremans, 2001, 2003; Frensch & Miner, 1994), jedoch zeigen die diesbezüglichen Befunde ein uneinheitliches Bild. Frensch und Miner (1994) variierten das RSI zwischen 500 ms und 1500 ms und fanden schwächere implizite Lerneffekte bei verlängertem RSI. Die vorliegende Untersuchung konnte diese Ergebnisse nicht replizieren, was aber entweder den geringe-

ren Unterschieden in der Länge des RSIs, oder dem unterschiedlichen Maß geschuldet sein kann. Frensch und Miner nutzten eine räumlich-motorische Sequenz und betrachteten daher Reaktionszeitbeschleunigungen und negativen Transfer beim Umschalten auf eine andere Sequenz als abhängige Variable. Zudem konnten die Ergebnisse von Frensch und Miner von Destrebecqz und Cleeremans (2003) nicht repliziert werden. Die Autoren verwendeten unter anderem eine Prozessdissoziationsprozedur und variierten ebenfalls die Länge des RSIs (0 ms, 250 ms, 1500 ms) und berichteten Lerneffekte in den Reaktionszeiten in allen drei Bedingungen. Jedoch waren nur die Probanden mit einem RSI größer 0 dazu in der Lage, die regelhaften Übergänge in der Exklusionsbedingung zu unterdrücken. Zudem zeigten die Probanden in der 1500-ms-Bedingung mehr explizites Wissen als die Versuchspersonen in der 250-ms-Bedingung. Auch Haider und Frensch (2009) fanden bei verlängertem RSI mehr explizites Wissen, aber nur dann, wenn das RSI unterlaufen werden konnte. Eine Unterschreitung des RSIs ist bei einer rein perzeptuellen Sequenz jedoch nicht möglich, da lediglich der nächste Stimulus, nicht aber die nächste motorische Reaktion antizipiert werden kann. Demnach kann keine Aussage darüber gemacht werden, ob die Länge des RSIs im aktuellen Experiment die Ursache für den gefundenen Unterschied zwischen den Experimenten ist. Die Verkürzung des RSIs ging jedoch mit einer Verlängerung der Präsentationszeit einher. Prinzipiell könnte also auch die erhöhte Darbietungsdauer des Zielreizes die Bewusstwerdung positiv beeinflusst haben.

Da die vorliegenden Befunde gegen die Kapazitätsannahme sprechen, stellt die unterschiedliche Aufmerksamkeitsausrichtung die wahrscheinlichste Erklärung für die gefundenen Effekte dar. Im folgenden Experiment wurde daher untersucht, inwiefern die Aufmerksamkeitsausrichtung zu qualitativ verschiedenen Repräsentationen der Aufgabe führt.



### 7.3 Experiment: Qualitative Repräsentationsunterschiede

Wie bereits in Kapitel 2 beschrieben, beschäftigte sich eine große Zahl an Studien im Bereich der impliziten Lernforschung mit der Natur des erworbenen Wissens. Neben der Frage nach der expliziten Verfügbarkeit des Erlernten wurde die Abstraktheit des Wissens untersucht. Hierzu sind besonders im Bereich der künstlichen Grammatiken Studien bedeutsam, die positiven Transfer bei gleichbleibender Regularität und wechselnden Buchstaben demonstrierten (z. B. Altman, Dienes & Goode, 1995; Gomez & Schvaneveldt, 1994; Mathews et al., 1989; Reber, 1969). Während einige Autoren dies als Hinweis auf abstraktes Wissen über die verborgene Regularität interpretierten (z. B. Reber, 1989), lassen andere Arbeiten den Schluss zu, dass sich das erworbene Wissen auf die Assoziation zwischen einzelnen Stimuli oder kleine Fragmente der Regularität beschränkt (Perruchet & Amorim, 1992; Perruchet & Pacteau, 1990; Shanks & St. John, 1994).

In einer neueren Untersuchung widmeten sich Goschke und Bolte (2007) dieser Fragestellung erneut unter Verwendung einer von der Motorik entkoppelten Sequenz. Das Stimulusmaterial bestand aus Abbildungen von Objekten aus vier verschiedenen Kategorien (Möbel, Tiere, Körperteile, Kleidung). Zu jeder Kategorie wurden verschiedene Exemplare genutzt. Die Sequenz lag hierbei in der Reihenfolge der Kategorien, während die Reihenfolge der Exemplare einer Kategorie randomisiert waren. Die Aufgabe der Probanden war es, das jeweils präsentierte Exemplar möglichst schnell verbal zu benennen. Nach vier Aufgabenblöcken mit regelhaftem Stimulusmaterial wurde das Sequenzwissen mit einem Block von randomisierten Stimuli erfasst. Die Probanden zeigten im Transferblock verglichen mit den Reaktionszeiten der beiden umliegenden Aufgabenblöcke mit regelhaftem Material einen negativen Transfer, was als Evidenz für eine abstrakte aber implizite Repräsentation der Kategoriensequenz interpretiert wurde. Erstaunlicherweise zeigten die Probanden im Block vor der Transferphase einen unerklärlichen Abfall der Reaktionszeiten, der von den Autoren nicht diskutiert wurde. Da dieser Block jedoch Teil des Vergleichs zwischen regelhaftem und randomisiertem Material war, sind die Ergebnisse

kritisch zu betrachten, da sich der gefundene Anstieg der Reaktionszeiten auch als Artefakt begreifen lässt. Zudem ist, wie bereits vorher diskutiert, fraglich, inwiefern Reaktionszeitbeschleunigungen bei der Verwendung von Sequenzen ohne motorische Komponente ein geeignetes Maß für die Erfassung impliziten Wissens darstellen.

Allerdings ist das von Goschke und Bolte (2007) genutzte Design eine gute Möglichkeit, eventuelle qualitative Repräsentationsunterschiede im Kontext der vorliegenden Experimentalreihe zu untersuchen. Führt die Aufmerksamkeitsausrichtung tatsächlich zu qualitativ verschiedenen Aufgabenrepräsentationen, sollten Probanden mit Mouse-Steuerung eher dazu in der Lage sein, eine Reihenfolge aus semantischen Kategorien zu lernen.

Darüber hinaus wurde mit dem dritten Experiment eine weitere Fragestellung bearbeitet. In den beiden ersten Untersuchungen zeigten sich Lerneffekte für eine rein visuelle Sequenz in Abhängigkeit der Eingabemethode. Es sollte daher in diesem Experiment überprüft werden, ob die Aufmerksamkeitsausrichtung auf die visuelle Modalität durch die Mouse-Steuerung zu Einbußen beim Erlernen einer rein motorischen Sequenz im Sinne eines Trade-offs führt. Demzufolge wurden die beiden Variablen Sequenzmodalität (Kategorien vs Motorisch) und Eingabeart (Mouse vs Tasten) zwischen den Versuchsgruppen variiert. Analog zum ersten Experiment wurde erwartet, dass Probanden mit Mouse-Steuerung in der Lage sind, die Kategoriensequenz zu erlernen. Dies sollte mit Tastatursteuerung nur eingeschränkt möglich sein. Kommt es durch die Aufmerksamkeitsausrichtung auf die visuelle Modalität zu einem Trade-off, sollte die motorische Sequenz unter Mouse-Steuerung schlechter gelernt werden als unter Tasten-Steuerung.

### 7.3.1 Experiment 3: Methode

Stichprobe. Die Stichprobe beinhaltete insgesamt aus 88 Studierenden der Universität zu Köln. Die Stichprobe bestand aus 29 Männern und 51 Frauen im Alter zwischen

19 und 48 Jahren ( $M = 24,54$ ,  $STD = 4,28$ ). Die Probanden wurden randomisiert auf die vier Bedingungen des Experiments (Mouse-Kategorien, Taste-Kategorien, Mouse-Motorisch, Taste-Motorisch) aufgeteilt. Die Vergütung der Teilnahme war identisch mit der in Experiment 1.

Material. Der Versuchsaufbau der dritten Untersuchung wies starke Ähnlichkeiten zu denen in den ersten beiden Experimenten auf. Der wesentliche Unterschied zwischen Experiment 2 und Experiment 3 bestand im verwendeten Stimulusmaterial. Die Zielreize bestanden in diesem Fall aus Abbildungen von je fünf Exemplaren aus insgesamt sechs semantischen Kategorien. Um die Gegenstände besser identifizierbar zu machen, wurde die Größe der Zielreize auf ca. 5 cm in der Diagonalen erhöht. Die Zielreize erschienen wiederum an zufälligen Positionen im oberen Bereich des Bildschirms. Die Reaktionsfelder im unteren Teil enthielten jeweils eins der Exemplare aus jeder Kategorie, so dass alle Kategorien in den Reaktionsfeldern vertreten waren. Die Auswahl der Exemplare war dabei quasi-randomisiert und ausbalanciert mit der Einschränkung, dass das Exemplar welches als Zielreiz im jeweiligen Durchgang dargeboten wurde, auch in einem der Reaktionsfelder präsent war, da auf das jeweilige Exemplar und nicht auf die semantische Kategorie als solche reagiert werden sollte. Eine Abbildung zweier aufeinanderfolgender Durchgänge zeigt Abbildung 7.10.

In den beiden Bedingungen mit einer semantischen Sequenz folgten die Stimuli einer sechsstelligen FOC-Sequenz der Kategorien (Buch, Krone, Baum, Schuh, Flugzeug, Tisch). Genau wie in den vorangegangenen Experimenten war die Reihenfolge der anzusteuern den Reaktionsfelder quasi-randomisiert und ausbalanciert mit der Einschränkung, dass niemals dasselbe Reaktionsfeld in zwei aufeinanderfolgenden Durchgängen angesteuert werden musste. In den Versuchsbedingungen mit einer motorischen Sequenz war hingegen die Reihenfolge der Kategorien in vergleichbarer Weise randomisiert. Die regelhafte Komponente lag hier in der Reihenfolge der anzusteuern den Reaktionsfelder bzw. der zu drückenden Tasten. Auch diese Sequenz

bestand ausschließlich aus FOCs und hatte eine Länge von sechs Stellen. Ordnet man den in Abbildung 7.10 gezeigten Reaktionsfeldern von links nach rechts jeweils eine der Zahlen von 1 bis sechs zu, lässt sich die motorische Sequenz als 3-5-1-6-4-2 beschreiben. Die Reihenfolge der einzelnen Exemplare der Kategorien war in allen Bedingungen auf die gleiche Art quasizufällig angeordnet.

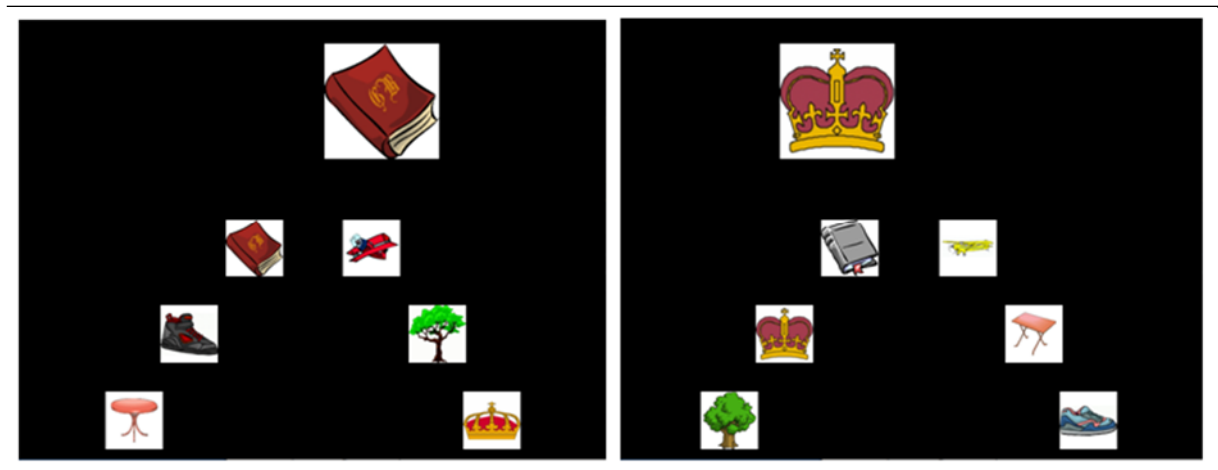


Abbildung 7.10: Zwei Durchgänge des SRT-Trainings im dritten Experiment. Die beiden Bildschirmabbildungen zeigen zwei aufeinanderfolgende Durchgänge der SRT mit semantischer Sequenz. Wie im jeweils unteren Teil der Abbildungen zu sehen ist, wurden die Exemplare der Kategorien den Reaktionsfeldern in jedem Durchgang neu zugeordnet.

Versuchsdurchführung. Wie in den vorangegangenen Experimenten begann auch diese Untersuchung mit einer ausführlichen computergestützten Instruktion, die die Aufforderung zur schnellen und akkuraten Reaktion auf die Zielreize beinhaltete. Bevor das SRT-Training gestartet wurde, absolvierten alle Probanden 20 Trainingsdurchgänge mit randomisiertem Material. Im Anschluss durchliefen alle Teilnehmer ein SRT-Training mit entweder motorischer Sequenz oder einer Sequenz aus den semantischen Kategorien. Das Training umfasste 10 Aufgabenblöcke mit jeweils 90 Durchgängen. Da beide Sequenzen eine Länge von sechs Stellen aufwiesen, wurden sie 15 Mal pro Aufgabenblock wiederholt. Der Startpunkt der Sequenz wurde in jedem Block zufällig ausgewählt. Die Existenz der Sequenz wurde gegenüber den Versuchspersonen nicht erwähnt. Die Prozedur der nach der SRT folgenden Wettaufgabe war mit dem Ablauf der Wettaufgabe in den Experimenten 1 und 2 mit Ausnahme des Stimulusmaterials identisch. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Unter-

suchungen bestand das Material nicht aus Farbreizen, sondern aus den Kategorie-Exemplaren aus dem SRT-Training.

### 7.3.2 Experiment 3: Ergebnisse

SRT. Die durchschnittlichen Reaktionszeiten und Anteile korrekter Reaktionen über alle Aufgabenblöcke sind in Abbildung 7.11 zusammengefasst. Aufgrund zu hoher Fehlerraten (siehe Experiment 1) mussten 8 Probanden von der weiteren Analyse ausgeschlossen werden. Die Anzahl der verbliebenen Versuchsteilnehmer in jeder Bedingung ist in der rechten Spalte von Tabelle 7.12 abgetragen.

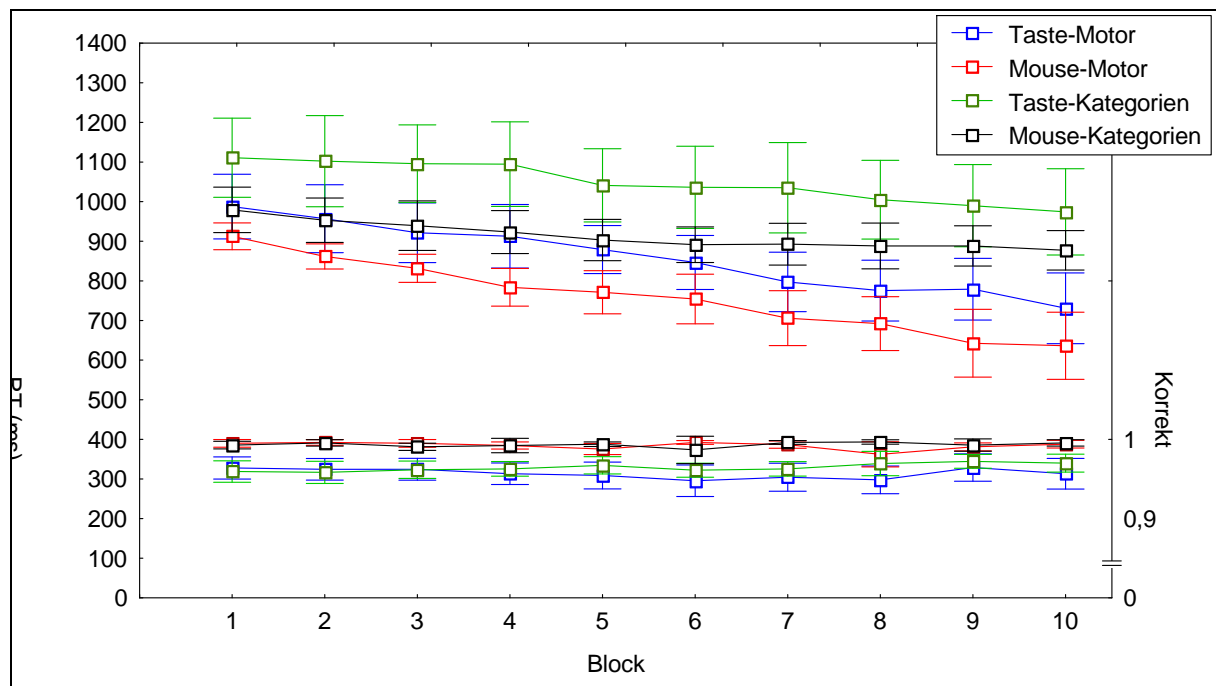


Abbildung 7.11: Reaktionszeiten und Anteile korrekter Eingaben im SRT-Training des dritten Experiments. Auf der Abszisse sind die Aufgabenblöcke des SRT-Trainings abgetragen. Die linke Ordinate zeigt die Reaktionszeiten in Millisekunden. Auf der rechten Abszisse sind die relativen Häufigkeiten korrekter Eingaben abgetragen. Die Fehlerbalken zeigen die Konfidenzintervalle nach Loftus und Masson (1994).

Eine 2 (Eingabemethode: Mouse vs Taste) x 2 (Sequenzart: Kategorien vs Motorisch) x 10 (messwiederholt: Aufgabenblock) ANOVA der gemittelten Reaktionszeiten zeigte einen Geschwindigkeitsvorteil bei der Verwendung einer Mouse ( $F_{(1,76)} = 10,94$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 251065,80$ ). Auch die beiden anderen Haupteffekte der Sequenzart

( $F_{(1,76)} = 23,59$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 251065,80$ ) und des Aufgabenblocks ( $F_{(9,684)} = 55,06$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 6039,50$ ) waren bedeutsam. Die einzige signifikante Interaktion bestand zwischen den Faktoren Sequenzart und Aufgabenblock ( $F_{(9,684)} = 8,08$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 6039,50$ ). Diese stärkere Beschleunigung bei der Verwendung einer motorischen Sequenz war jedoch zu erwarten, da nur die motorische Sequenz eine Vorbereitung der nächsten Reaktion, und damit auch eine stärkere Beschleunigung der Reaktionszeiten, erlaubt. Die übrigen Interaktionen erreichten kein signifikantes Niveau (alle  $F < 1$ , alle  $p > .45$ ). Geplante Kontraste der Reaktionszeiten im ersten und letzten Aufgabenblock für jede Bedingung erbrachten eine signifikante Beschleunigung im Verlauf des Trainings für alle Versuchsbedingungen (Mouse-Kategorien:  $F_{(1,76)} = 7,16$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 14539,18$  ; Taste-Kategorien:  $F_{(1,76)} = 12,84$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 14539,18$  ; Mouse-Motorisch:  $F_{(1,76)} = 52,49$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 14539,18$  ; Taste-Motorisch:  $F_{(1,76)} = 45,39$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 14539,18$ ).

Eine analog durchgeführte Varianzanalyse mit den Faktoren Eingabemethode (Mouse vs Taste), Sequenzart (Kategorien vs Motorisch) und Block (messwiederholt: Aufgabenblock) mit der abhängigen Variable Anteile korrekter Reaktionen ergab einen bedeutsamen Haupteffekt der Eingabemethode ( $F_{(1,76)} = 54,38$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,002635$ ). Wie auch im ersten Experiment machten die Probanden in den Mouse-Bedingungen mehr korrekte Eingaben, obgleich die Korrektheit in allen Bedingungen relativ hoch war. Die Interaktion zwischen der Sequenzart und den Aufgabenblöcken erreichte ein signifikantes Niveau ( $F_{(9,684)} = 1,97$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 0,000519$ ). Ein Post-hoc-Vergleich zeigte, dass dieser Effekt auf die Probanden mit Tasten-Steuerung zurückzuführen ist, welche bei Verwendung einer motorischen Sequenz im Verlauf des Trainings weniger korrekte Eingaben tätigten, während bei Verwendung der Kategorien-Sequenz die Korrektheit über die Aufgabenblöcke tendenziell zunahm ( $F_{(1,76)} = 3,04$ ,  $p = .09$ ,  $MSE = 0,000519$ ). Alle anderen Effekte und Interaktionen waren ebenfalls nicht bedeutsam (alle  $F < 1,5$ , alle  $p > .25$ ).

Wettaufgabe. Die gemittelten relativen Häufigkeiten korrekter Vorhersagen in den Wettdurchgängen sowie die Anteile hoher und niedriger Einsätze bei korrekten Vorhersagen sind in Tabelle 7.12 dargestellt. Eine Varianzanalyse mit den Faktoren Eingabemethode (Mouse vs Taste) und Sequenzart (Kategorien vs Motorisch) als Between-Subject-Variablen ergab sowohl für die Eingabemethode ( $F_{(1,76)} = 4,61$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 0,07$ ), als auch für die Sequenzart ( $F_{(1,76)} = 5,60$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 0,07$ ) signifikante Haupteffekte. Die Interaktion war hingegen nicht bedeutsam ( $F_{(1,76)} < 2$ ,  $p = .19$ ). Geplante Kontraste zeigten signifikante Wissensvorteile hinsichtlich der Kategorien-Sequenz bei der Mouse-Steuerung gegenüber der Tasten-Steuerung ( $F_{(1,76)} = 5,97$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 0,07$ ). Dieser Unterschied zeigte sich bezüglich der motorischen Sequenz nicht ( $F_{(1,76)} < 1$ ,  $p = .55$ ). Vergleiche innerhalb der jeweiligen Eingabemethode erbrachten keinen Unterschied im erworbenen Wissen über die beiden Sequenzen bei der Mouse-Steuerung ( $F_{(1,76)} < 1$ ,  $p = .49$ ), wohingegen die Probanden mit Verwendung der Tastatur signifikant mehr Wissen über die motorische Sequenz zeigten ( $F_{(1,76)} = 6,49$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 0,07$ ).

Tabelle 7.12: Relative Häufigkeiten korrekter Vorhersagen in Experiment 3. Die erste Spalte zeigt die durchschnittlichen relativen Häufigkeiten korrekter Vorhersagen in den Wettdurchgängen. In der zweiten und dritten Spalte sind die Anteile korrekter Prädiktionen in Abhängigkeit der Einsatzhöhe abgetragen. Zahlen in Klammern zeigen die jeweilige Standardabweichung. In der letzten Spalte zeigt die umklammerte Zahl die Anzahl der Finder in der jeweiligen Bedingung.

|                  | Vorhersageleistungen | Hoher Einsatz | Niedriger Einsatz | N      |
|------------------|----------------------|---------------|-------------------|--------|
| Mouse-Kategorien | 0,51 (0,28)          | 0,51 (0,31)   | 0,32 (0,29)       | 20 (8) |
| Taste-Kategorien | 0,31 (0,07)          | 0,29 (0,14)   | 0,22 (0,14)       | 20 (0) |
| Mouse-Motorisch  | 0,56 (0,29)          | 0,60 (0,33)   | 0,36 (0,31)       | 20 (8) |
| Taste-Motorisch  | 0,51 (0,31)          | 0,54 (0,34)   | 0,40 (0,33)       | 20 (7) |

Um die Art des erworbenen Wissens genauer zu untersuchen, wurde über die Anteile korrekter Vorhersagen eine 2 (Eingabemethode: Mouse vs Taste) x 2 (Sequenzart: Kategorien vs Motorisch) x 2 (messwiederholt: Einsatzhöhe) ANOVA gerechnet. Die Haupteffekte der Sequenzart ( $F_{(1,76)} = 8,70$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,09$ ) und der Einsatzhöhe ( $F_{(1,76)} = 14,08$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,07$ ) waren hochsignifikant. Der Einfluss der Eingabemethode erreichte hingegen nur ein marginal signifikantes Niveau ( $F_{(1,76)} = 3,24$ ,  $p = .08$ ,  $MSE = 0,09$ ). Die Interaktion zwischen Sequenzart und der Eingabemethode verfehlte die Signifikanzgrenze nur knapp ( $F_{(1,76)} = 2,52$ ,  $p = .11$ ,  $MSE = 0,09$ ). Die übrigen Interaktionen waren nicht bedeutend (alle  $F < 2$ , alle  $p > .20$ ). Um festzustellen ob die Probanden über explizites Wissen verfügten, wurden geplante Kontraste der Anteile korrekter Wetten bei hohen und niedrigen Einsätzen für jede der vier Versuchsbedingungen errechnet. In der Mouse-Kategorie-Bedingung machten die Probanden bedeutend häufiger korrekte Vorhersagen, wenn sie hoch einsetzten als wenn sie niedrig einsetzten ( $F_{(1,76)} = 5,31$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 0,07$ ). Dieser Effekt ließ sich ebenfalls in der Mouse-Motorisch-Bedingung ( $F_{(1,76)} = 7,76$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,07$ ) finden. In der Tasten-Motorisch-Bedingung war der Unterschied zwischen hohen und niedrigen Einsätzen knapp nicht signifikant ( $F_{(1,76)} = 2,72$ ,  $p = .10$ ,  $MSE = 0,07$ ), während er in der Tasten-Kategorien-Versuchsbedingung nahezu vollständig verschwand ( $F_{(1,76)} < 1$ ,  $p = .45$ ).

Zusammengefasst zeigen die Daten der korrekten Vorhersagen und der Verteilung der Einsätze einen deutlichen Wissensvorteil bezüglich der Kategorien-Sequenz bei der Eingabe via Mouse. Im Gegensatz dazu unterschieden sich die beiden Eingabemethoden hinsichtlich des erworbenen Wissens über die motorische Sequenz nicht. Eine Analyse der korrekten Wetten in Abhängigkeit der Einsätze erbrachte in drei Versuchsbedingungen unterschiedlich stark ausgeprägtes explizites Wissen, während sich das Wissen in der Tasten-Kategorien-Bedingung eher als implizit beschreiben ließ. Diese Ergebnisse bestätigten sich ebenfalls in einer Auswertung der Finder-Verteilungen in den verschiedenen Versuchsgruppen. Eine Reihe von  $\chi^2$ -Tests zeigte, dass sich in allen drei Versuchsgruppen signifikant mehr Finder befanden als in der



Taste-Kategorie-Bedingung (Mouse-Kategorien:  $\chi^2_{(1)} = 10,00$ ,  $p < .01$ ; Mouse-Motorisch:  $\chi^2_{(1)} = 10,00$ ,  $p < .01$ ; Taste-Motorisch:  $\chi^2_{(1)} = 8,48$ ,  $p < .01$ ).

Eine abschließende Analyse unter Ausschluss der Finder sollte Auskunft darüber geben, inwiefern die gefundenen Effekte auf explizites Wissen zurückgehen. Die gemittelten korrekten Vorhersagen der verbliebenen Probanden insgesamt und in Abhängigkeit der Einsatzhöhe sind in Tabelle 7.13 abgetragen.

Tabelle 7.13: Korrekte Vorhersagen in Experiment 3 ohne Finder. Die erste Spalte zeigt die durchschnittlichen relativen Häufigkeiten korrekter Vorhersagen in den Wettdurchgängen. In der zweiten und dritten Spalte sind die Anteile korrekter Prädiktionen in Abhängigkeit der Einsatzhöhe abgetragen. Zahlen in Klammern zeigen die jeweilige Standardabweichung.

|                  | Vorhersageleistungen | Hoher Einsatz | Niedriger Einsatz | N  |
|------------------|----------------------|---------------|-------------------|----|
| Mouse-Kategorien | 0,31 (0,08)          | 0,31 (0,15)   | 0,29 (0,14)       | 12 |
| Taste-Kategorien | 0,31 (0,07)          | 0,29 (0,14)   | 0,22 (0,14)       | 20 |
| Mouse-Motorisch  | 0,36 (0,13)          | 0,37 (0,21)   | 0,36 (0,29)       | 12 |
| Taste-Motorisch  | 0,31 (0,11)          | 0,31 (0,14)   | 0,32 (0,25)       | 13 |

Die durchgeführte ANOVA der relativen Häufigkeiten korrekter Vorhersagen mit den beiden Gruppierungsvariablen Sequenzart (Kategorien vs Motorisch) und Eingabemethode (Mouse vs Taste) ergab weder signifikante Haupteffekte noch eine bedeutsame Interaktion (alle  $F < 1,50$ , alle  $p > .25$ ). Eine zusätzliche Varianzanalyse mit den Between-Subjects-Variablen Sequenzart (Kategorien vs Motorisch) und Eingabemethode (Mouse vs Tasten) und der Within-Subjects-Variablen Einsatzhöhe (hoch vs niedrig) zeigte ebenfalls keine bedeutsamen Haupteffekte oder Interaktionen (alle  $F < 1,80$ , alle  $p > .20$ ), was darauf hindeutet, dass die verbliebenen Probanden nicht

über explizites Wissen verfügten. Die Wissensvorteile bei der Benutzung einer Mouse verschwanden nach dem Ausschluss der Finder. Allerdings zeigte ein Vergleich der korrekten Vorhersagen mit dem Zufallsniveau von .02 implizites Wissen in allen vier Bedingungen (alle  $p < .01$ ).

### 7.3.3 Experiment 3: Interpretation

Erstaunlicherweise benötigten die Probanden mit Tasten-Steuerung bedeutend länger für eine korrekte Eingabe. Obwohl es sich hierbei um einen Zufallsbefund handelt, lässt dieses Ergebnis zusätzliche Rückschlüsse bezüglich der Wissensvorteile bei der Verwendung der Mouse zu. Eine mögliche Kritik an den bisher dargestellten Befunden ist, dass es durch Aufgabenbearbeitung mit einer Mouse zu Repräsentationen besserer Qualität kommt, da die Probanden mehr Zeit mit der Verarbeitung der Zielreize und einer entsprechenden Reaktion verbringen. Im Rahmen von Single-Systems-View-Theorien (z. B. Cleeremans, 2002, Shanks, 2003) lässt sich annehmen, dass dies zu robusteren Repräsentationen und damit auch zu besseren Vorhersageleistungen in der Wettaufgabe geführt hat. Somit wären die beobachteten Unterschiede eher quantitativer Natur und würden nicht notwendigerweise für einen Einfluss der Aufmerksamkeitsausrichtung sprechen. Allerdings dreht sich der Effekt der Eingabemethode auf die Reaktionszeiten in der vorliegenden Untersuchung um, was diese Interpretation der Daten unpassend erscheinen lässt.

Zusammengefasst zeigen die vorgelegten Ergebnisse aus Experiment 3 robuste Lerneffekte in allen Versuchsbedingungen. Sowohl über die Kategorien-Sequenz als auch über die motorische Sequenz wurde Wissen erworben. Jedoch unterschieden sich die Art und das Ausmaß des erworbenen Wissens in Abhängigkeit der Eingabemethode und der Sequenzart. Allein in der Tasten-Kategorien-Bedingung verfügte keiner der Probanden über strategisch nutzbares Wissen und die Lerneffekte waren insgesamt im Vergleich zu den restlichen Bedingungen verringert. Nach dem Ausschluss der Finder verschwand dieser Unterschied, was zunächst die Ergebnisse der ersten Un-

tersuchung repliziert und darauf schließen lässt, dass der Wissensvorteil in den drei Versuchsgruppen durch die Teilnehmer mit explizitem Wissen zustande kam.

Bezogen auf die Frage nach der Art der Aufgaben- und Sequenzrepräsentation sind diese Ergebnisse bedeutsam. Zunächst kann festgehalten werden, dass Probanden dazu in der Lage sind, abstraktes Wissen über die zugrundeliegende Regularität in einer inzidentellen Lernsituation zu erwerben. Wissensfragmente und Assoziationen zwischen einzelnen Stimuli der Sequenz können diese Befunde nicht erklären, da die Reihenfolge der Exemplare in der vorliegenden Untersuchung keinerlei regelhafte Komponente enthielt. Dies repliziert die Befunde von Goschke und Bolte (2007). Zudem scheinen sich die Sequenzrepräsentationen in Abhängigkeit der Aufmerksamkeitsausrichtung zu unterscheiden, da bei der Verwendung der Mouse-Steuerung nicht nur bedeutend mehr Wissen über die Kategorien-Sequenz erworben wurde, sondern dieses Wissen zusätzlich teilweise explizit war. Ein Verstärkungsmechanismus bzw. ein daraus resultierender rein quantitativer Unterschied zwischen den Aufgabenrepräsentationen (Cleeremans, 2002; Cleeremans & Jiménez, 2002) erscheint ungeeignet das Datenmuster zu erklären. Nimmt man wie beispielweise Cleeremans (2002) an, dass Bewusstsein ein graduelles Phänomen ist, sollte sich auch in der Tasten-Kategorien-Bedingung (zumindest einige) Probanden mit explizitem Wissen finden lassen. Da dies jedoch nicht der Fall ist, sprechen die Befunde jedoch eher für die Entstehung von Bewusstsein nach einem Alles-oder-Nichts-Prinzip, wie es beispielweise im Rahmen der UEH (siehe Abschnitt 3.2.2) angenommen wird. Zusammengenommen mit den Ergebnissen des zweiten Experiments und der gefundenen Umkehr der Reaktionszeiteffekte in dieser Untersuchung erscheint eine Interpretation der Daten im Sinne qualitativer Repräsentationsunterschiede angebracht.

Dieser Befund untermauert die Annahme der selektiven Natur impliziter Lernmechanismen. Zudem lässt ein Vergleich der beiden Mouse-Bedingungen im vorliegenden Experiment eine genauere Aussage über die Wirkweise der Aufmerksamkeitsausrichtung zu. Obwohl durch die Eingabemethode die selektive Aufmerksamkeit

verstärkt auf die visuelle Modalität gelenkt wurde, blieben die Lernprozesse bezüglich der motorischen Sequenz davon unberührt. Die Ergebnisse aus Experiment 2 sprechen in diesem Zusammenhang gegen einen Kapazitätseffekt. Allerdings kann aufgrund des Between-Designs des vorliegenden Experiments nicht vollkommen ausgeschlossen werden, dass die Ausrichtung auf die visuelle Modalität einen störenden Einfluss auf das Erlernen einer motorischen Regularität hat. Daher wurden im folgenden Experiment zwei unkorrelierte Sequenzen in unterschiedlichen Modalitäten parallel dargeboten, um einen möglichen Trade-Off durch die Aufmerksamkeitsausrichtung zu untersuchen.

## 7.4 Experiment 4: Paralleles Lernen unkorrelierter Sequenzen

Unter dem Blickwinkel der Unabhängigkeit impliziter Lernprozesse von Aufmerksamkeit als Ressource wurde bereits in einer Reihe von Studien die Möglichkeit parallelen Lernens zweier Sequenzen untersucht (z. B. Cock, Berry & Buchner, 2002; Deroost, Zeischka & Soetens, 2008; Jiménez & Méndez, 1999; Mayr, 1996; Rowland & Shanks, 2006; Schmidtke & Heuer, 1997; Shanks et al., 2005). Die berichteten Ergebnisse variieren stark in Abhängigkeit der Modalität und Korrelation der genutzten Regularitäten.

In der bereits vorgestellten Experimentalreihe von Jiménez und Méndez (1999) wurden zwei korrelierte Sequenzen in verschiedenen Dimensionen (Symbole und räumliche Lokationen) genutzt, welche bei Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf beide Dimensionen parallel gelernt werden konnten. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen Schmidtke und Heuer (1997) bei der Verwendung einer räumlich-motorischen und einer akustischen Sequenz. Jedoch war die Leistung der Probanden umso besser, je stärker die beiden Sequenzen miteinander korrelierten. Dies lässt den Schluss zu, dass beide Regularitäten nicht parallel gelernt wurden, sondern zu einer einzigen Sequenz integriert wurden. Obwohl dies in der Studie von Jiménez und Méndez nicht untersucht wurde, besteht die Möglichkeit, dass dies hier ebenso der

Fall war, da das Training ca. 30.000 Durchgänge umfasste und somit genug Zeit für das Erlernen einer komplexen integrierten Sequenz aus beiden Modalitäten bestand. Um das parallele Lernen verschiedener Regularitäten zu untersuchen bieten sich daher unabhängige Sequenzen an. Diese Sequenzen zeichnen sich dadurch aus, dass sie die Vorbereitung einer Reaktion auf das folgende Element einer Sequenz  $x$  in Durchgang  $t+1$  durch ein anderes Element der Sequenz  $y$  in Durchgang  $t$  nicht erlauben. Illustriert werden kann dies am Beispiel einer motorischen und einer perzeptuellen Sequenz. Wird in einem Durchgang  $t$  beispielsweise die Farbe Rot präsentiert, sollte dieser Reiz keinerlei Vorhersage der motorischen Eingabe im nächsten Durchgang erlauben.

Solche Sequenzen wurden beispielweise von Rowland und Shanks (2006) verwendet. Beide Sequenzen waren räumlich-motorischer Natur und wurden parallel in zwei verschiedenen Reihen von möglichen Lokationsfeldern dargeboten. Obwohl die Probanden instruiert wurden, nur eine der Reihen zu beachten, zeigten sie sowohl in Durchgängen mit Devianten der beachteten, als auch bei abweichenden Stimuli in der nicht beachteten Sequenz Reaktionszeiteinbußen. Ähnliche Ergebnisse lassen sich auch im sog. Negative Priming-Paradigma (Cock et al., 2002) finden. In diesem Paradigma werden ebenfalls jeweils parallel zwei verschieden farbige Stimuli (rote und blaue Punkte, deren Lokationen den Reaktionstasten zugeordnet sind) dargeboten, die zwei unkorrelierten motorischen Sequenzen folgen. Auch hier werden die Versuchspersonen dazu angehalten eine der beiden Sequenzen zu ignorieren. Nach einigen Aufgabenblöcken mit SRT-Training folgt eine Transferphase, in der nur Stimuli in der zu beachtenden Farbe dargeboten werden. Diese Reize folgen hier jedoch nicht mehr ihrer ursprünglichen Sequenz, sondern derjenigen Regularität, die während der Trainingsphase ignoriert werden sollte. Im Unterschied zu dieser Experimentalbedingung werden einer Kontrollgruppe während der Trainingszeit nur randomisierte Stimuli in der nicht beachteten Farbe präsentiert. Im Vergleich zu dieser Kontrollgruppe zeigten die Probanden der Experimentalgruppe in einer Untersuchungsreihe von Deroost et al. (2008) einen stärkeren negativen Transfer, was darauf

hindeutet, dass die unbeachtete Sequenz ebenfalls gelernt wurde. Diese beiden Befunde sprechen auf den ersten Blick gegen einen selektiven impliziten Lernmechanismus und werfen Zweifel hinsichtlich der Ergebnisse der hier vorliegenden Experimente auf.

Eine Möglichkeit die Befunde miteinander in Einklang zu bringen, besteht in der Annahme, dass sich die beobachteten Effekte der Aufmerksamkeitsausrichtung auf die Ebene der Modalitäten beschränken und darüber hinaus keine weitere Spezifizierung stattfindet. Dies würde im Kontext der aktuellen Experimente bedeuten, dass die Aufmerksamkeitsausrichtung durch die Manipulation der Eingabemethode die Aufgabenrepräsentation lediglich dahingehend verändert, in welcher Modalität eventuelle Regularitäten gelernt werden. Folgt man dieser Annahme, sollte es in Betracht der Ergebnisse des zweiten Experiments durch die Mouse-Steuerung verstärkt möglich sein, parallel Wissen über eine rein perzeptuelle und eine unkorrelierte motorische Sequenz zu erwerben. Um dieser Frage nachzugehen wurden eine sechsstellige perzeptuelle Farbsequenz und eine davon unabhängige achsstellige motorische Sequenz verwendet. Die Aufgabe wurde entweder mit Mouse- oder Tasten-Steuerung bearbeitet, um die Aufmerksamkeitsausrichtung zu manipulieren. Zusätzlich wurde eine Kontrollgruppe mit einer rein motorischen Sequenz als Baseline erhoben.

#### 7.4.1 Experiment 4: Methode

Stichprobe. An der Untersuchung nahmen insgesamt 81 Studierende der Universität zu Köln teil, von denen 65 weiblich waren. Das Alter der Versuchspersonen lag zwischen 18 und 37 Jahren ( $M = 22,58$ ,  $STD = 2,89$ ). Die Probanden wurden zufällig auf die drei Bedingungen des Experiments aufgeteilt. Die Vergütung der Teilnahme war identisch mit der in Experiment 1.

Material. Der Versuchsaufbau des SRT-Trainings entsprach den Experimentalbedingungen im ersten Experiment mit Ausnahme der verwendeten Reihenfolge der Sti-

multi und deren Präsentationsdauer. Die perzeptuelle Sequenz war mit derjenigen aus der ersten Untersuchung identisch. Die motorische Hybrid-Sequenz umfasste hingegen acht Stellen (3 – 5 – 1 – 6 – 4 – 2 – 5 – 4, die Zahlen entsprechen den verschiedenen Reaktionsfeldern auf dem Bildschirm bzw. den markierten Tasten). Die unterschiedlichen Längen der Sequenzen ergaben sich aus der Notwendigkeit beide Regularitäten voneinander zu entkoppeln, um die Möglichkeit der Integration beider Sequenzen zu minimieren (Schmidtke & Heuer, 1997). Durch die unterschiedliche Anzahl von Übergängen in den beiden Regularitäten wiederholte sich jede Kopplung zwischen einer spezifischen Farbe und einer spezifischen Eingabeposition erst nach 48 Durchgängen. Da die anschließende Wettaufgabe komplexer war als in den vorangegangenen Experimenten und sich Lern- und Testsituation im Sinne der in Abschnitt 2.4 diskutierten Kriterien möglichst entsprechen sollten, wurde die Präsentationszeit der Stimuli auf 300 ms erhöht (siehe unten).

Die Wettaufgabe unterschied sich von der Wissenserfassung im ersten Experiment in zwei wesentlichen Punkten. Zum einen wurde die Anzahl der Aufgabenblöcke auf insgesamt acht erhöht, um ausreichend viele Datenpunkte für beide Sequenzen zu erhalten. Die zweite wichtige Änderung betraf die Wettdurchgänge selbst. Um das Wissen über die Regularitäten unabhängig voneinander messen können, wurden sowohl Farben-Vorhersagen als auch Motorische-Vorhersagen von den Probanden verlangt. Beispiele für beide Wettarten sind in Abbildung 7.14 dargestellt. Die Präsentationsdauer der Stimuli wurde in der Wettaufgabe auf 300 ms erhöht, um trotz der anspruchsvollen Natur der Aufgabe durch die ständigen Wechsel zwischen den Abfragen beider Sequenzen Lerneffekte beobachten zu können.

Die Anordnung der Reaktionsfelder bzw. deren Einfärbung wurde im vierten Experiment angepasst, um zu verhindern, dass erworbenes Wissen über eine der beiden Sequenzen bei der Vorhersage eines Übergangs der jeweils anderen Sequenz eingesetzt werden konnte. In den Farben-Wettdurchgängen wurden dazu die Reaktionsfelder in randomisierter Reihenfolge am unteren Teil des Bildschirms angeordnet.

Bei einer Motorischen-Vorhersage wurden dahingegen die Positionen der Reaktionsfelder beibehalten und stattdessen die Farben der Felder entfernt. Um den Probanden die Vorhersage etwas zu erleichtern, zeigte eine Markierung (weiße Umrandung) die im vorangegangenen Durchgang präsentierte Farbe oder Position des jeweiligen Reaktionsfeldes an. Beide Arten von Wettdurchgängen wurden in quasizufälliger Abfolge in jedem Aufgabenblock absolviert.

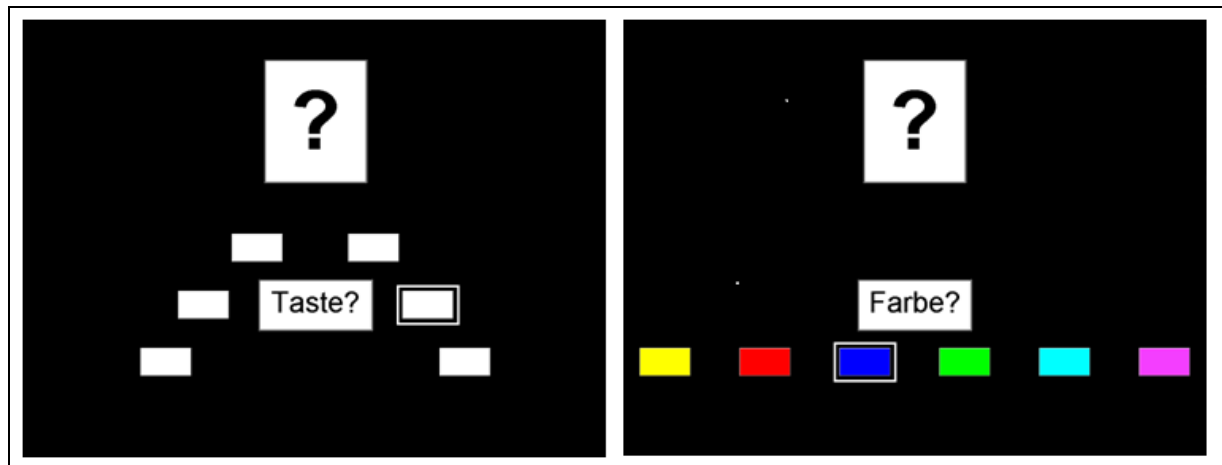


Abbildung 7.14: Wettarten in Experiment 4. Die linke Seite zeigt eine Motorische-Vorhersage, auf der rechten Seite ist eine Farben-Vorhersage abgebildet. Die weiße Umrandung markiert das jeweils zuvor anzusteuern Reaktionsfeld bzw. die zuvor erschienene Farbe.

Versuchsdurchführung. Die Durchführung orientierte sich ebenfalls stark am Ablauf der vorangegangenen Experimente. In der Dual-Mouse-Bedingung und in der Dual-Tasten-Bedingung wurden 2 unkorrelierte Sequenzen parallel dargeboten. Die Versuchspersonen in der zusätzlichen Motor-Taste-Bedingung absolvierten hingegen ein SRT-Training, das lediglich eine motorische Regularität enthielt. Aufgrund der unterschiedlichen Länge der beiden Regularitäten wurde die Anzahl der Durchgänge in den Aufgabenblöcken des SRT-Trainings auf 96 erhöht. Um möglichst viele Datenpunkte bezüglich der beiden Sequenzarten zu erhalten, umfasste die anschließende Wett Aufgabe acht Aufgabenblöcke.



### 7.4.2 Experiment 4: Ergebnisse

SRT. Die aggregierten Reaktionszeiten und Anteile korrekter Reaktionen über alle Aufgabenblöcke sind in Abbildung 7.15 zusammengefasst. Von der ursprünglichen Stichprobe wurden 5 Probanden aufgrund zu vieler Fehler im SRT-Training von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Die rechte Spalte von Tabelle 7.16 enthält die verbliebenen Probanden in den verschiedenen Versuchsbedingungen.

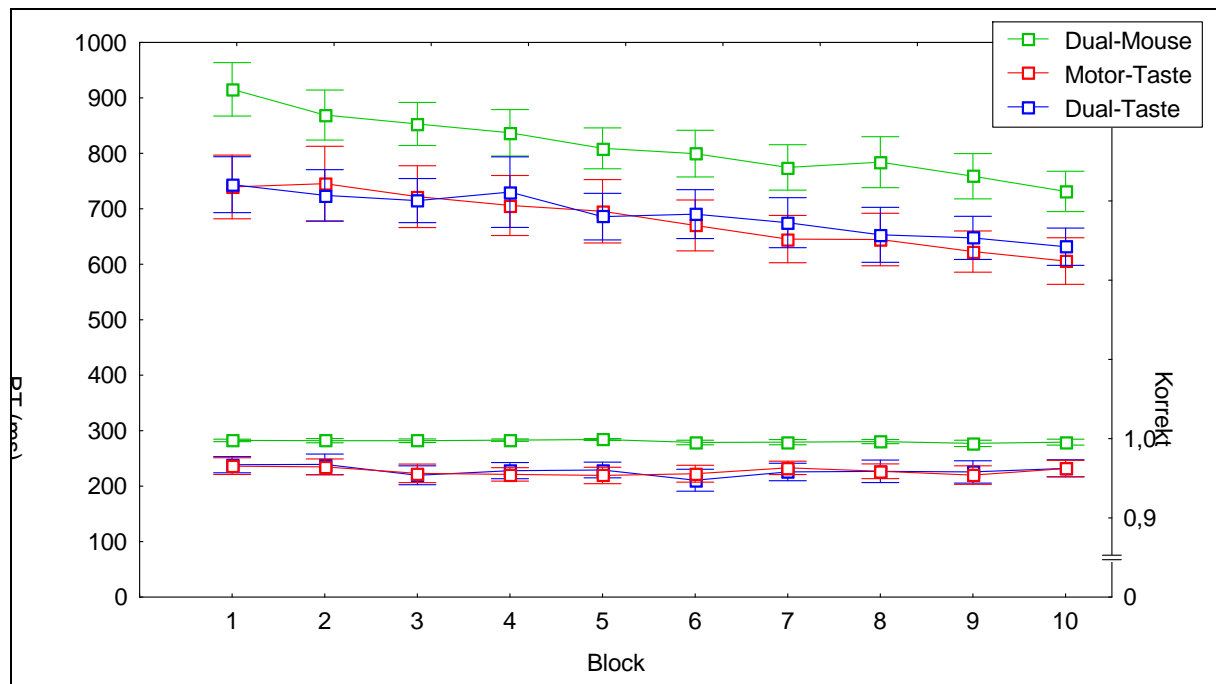


Abbildung 7.15: Reaktionszeiten und Anteile korrekter Eingaben im SRT-Training des vierten Experiments. Auf der Abszisse sind die Aufgabenblöcke des SRT-Trainings abgetragen. Die linke Ordinate zeigt die Reaktionszeiten in Millisekunden. Auf der rechten Abszisse sind die relativen Häufigkeiten korrekter Eingaben abgetragen. Die Fehlerbalken zeigen die Konfidenzintervalle nach Loftus und Masson (1994).

Eine Varianzanalyse der Reaktionszeiten mit den unabhängigen Variablen Bedingung (Dual-Mouse vs Dual-Taste vs Motor-Taste) und der messwiederholten Variable Aufgabenblock ergab einen bedeutsamen Haupteffekt der Bedingung ( $F_{(2,73)} = 12,63$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 116754,90$ ), einen ebenfalls bedeutenden Effekt des Aufgabenblocks ( $F_{(9,666)} = 58,78$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 2870,90$ ) und eine signifikante Interaktion ( $F_{(9,666)} = 1,70$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 2870,90$ ). Geplante Vergleiche der Reaktionszeiten im ersten und letzten Aufgabenblock, zeigten signifikante Beschleunigungen der Reaktionszeiten in allen Bedingungen (Dual-Taste:  $F_{(1,73)} = 30,95$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 5057,90$ ; Motor-Taste:  $F_{(1,73)} =$

42,34,  $p < .01$ ,  $MSE = 5057,90$ ; Dual-Mouse:  $F_{(1,73)} = 93,85$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 5057,90$ ). Die Probanden, die eine Mouse-Steuerung verwendeten, benötigten zu Beginn des Trainings mehr Zeit für eine korrekte Reaktion, beschleunigten jedoch im Verlauf der SRT im Vergleich zu den anderen Versuchspersonen stärker ( $F_{(1,73)} = 6,64$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 5057,90$ ).

Eine analoge Analyse der relativen Häufigkeiten der korrekten Reaktionen zeigte einen signifikanten Einfluss der Bedingung ( $F_{(2,73)} = 44,90$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,002799$ ). Der Effekt des Trainings war ebenfalls bedeutsam ( $F_{(9,666)} = 3,06$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,000275$ ). Die Interaktion beider Variablen war hingegen nicht bedeutsam ( $F_{(9,666)} = 1,16$ ,  $p = .29$ ). Ein post-hoc berechneter Kontrast zeigte, dass die Probanden in der Dual-Mouse-Bedingung bedeutend mehr korrekte Eingaben machten, als die Versuchspersonen in den beiden Tasten-Gruppen ( $F_{(1,73)} = 89,80$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,002799$ ).

Wettaufgabe. Analog zu den Darstellungen der Ergebnisse der vorangegangenen Experimente sind die Anteile korrekter Vorhersagen insgesamt und in Abhängigkeit der Einsatzhöhe für Farb-Vorhersagen und Motorische-Vorhersagen in Tabelle 7.16 separat aufgeführt. Eine erste ANOVA mit dem Faktor Bedingung (Dual-Taste vs Motor-Taste vs Dual-Mouse), dem messwiederholten Faktor Wettart (Farben vs Motorisch) und den relativen Häufigkeiten korrekter Vorhersagen als abhängiger Variablen zeigte hochsignifikante Haupteffekte der beiden Variablen (Bedingung:  $F_{(2,73)} = 11,95$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,07$ ; Wettart:  $F_{(1,73)} = 10,65$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,03$ ) sowie eine bedeutsame Interaktion ( $F_{(2,73)} = 5,82$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,04$ ). Geplante Kontraste sollten zusätzlich darüber Aufschluss geben, inwiefern sich die Vorhersageleistungen der einzelnen Bedingungen unterschieden. Um den Effekt der Eingabemethode genauer erfassen zu können, wurden zunächst die beiden Dual-Bedingungen miteinander verglichen. Bezüglich der perzeptuellen Sequenz zeigten die Probanden mit Mouse-Steuerung einen signifikanten Wissensvorteil ( $F_{(1,73)} = 15,99$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,05$ ). Bezüglich der motorischen Sequenz war der Wissensunterschied nicht bedeutsam ( $F_{(1,73)} = 2,45$ ,  $p = .12$ ,  $MSE = 0,05$ ). Zusätzliche Kontraste wurden für das Wissen über die

beiden Sequenzen innerhalb der beiden Bedingungen berechnet. In der Dual-Mouse-Bedingung wurde vergleichbar viel Wissen über beide Regularitäten erworben ( $F_{(1,73)} = 0,49$ ,  $p = .48$ ,  $MSE = 0,03$ ). In der Dual-Tasten-Gruppe wurde hingegen bedeutend mehr Wissen über die motorische Sequenz erworben ( $F_{(1,73)} = 5,05$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 0,03$ ). Abschließende Kontrastberechnungen wurden für den Vergleich der beiden Gruppen mit Tastensteuerung durchgeführt. Hierbei ergab sich ein marginal bedeutsamer Unterschied bezüglich der perzeptuellen Sequenz ( $F_{(1,73)} = 3,24$ ,  $p = .06$ ,  $MSE = 0,05$ ), jedoch kein Effekt für die motorische Sequenz ( $F_{(1,73)} = 0,18$ ,  $p = .67$ ,  $MSE = 0,05$ ).

Tabelle 7.16: Relative Häufigkeiten korrekter Vorhersagen in Experiment 4. In den ersten drei Spalten sind die relativen Häufigkeiten korrektere Vorhersagen für alle Farb-Wettdurchgänge insgesamt und in Abhängigkeit der Einsatzhöhe abgetragen. Analog dazu zeigen die folgenden drei Spalten die gleichen Daten für die Motorischen-Wettdurchgänge. Zahlen in Klammern zeigen die Standardabweichungen.

|             | Farb-Vorhersagen |                |                   | Motorische-Vorhersagen |                |                   | N  |
|-------------|------------------|----------------|-------------------|------------------------|----------------|-------------------|----|
|             | Korrekt          | Hoher Einsatz  | Niedriger Einsatz | Korrekt                | Hoher Einsatz  | Niedriger Einsatz |    |
| Dual-Taste  | 0,36<br>(0,20)   | 0,44<br>(0,33) | 0,22<br>(0,09)    | 0,48<br>(0,20)         | 0,53<br>(0,26) | 0,33<br>(0,20)    | 25 |
| Motor-Taste | 0,23<br>(0,12)   | 0,26<br>(0,26) | 0,21<br>(0,13)    | 0,45<br>(0,25)         | 0,47<br>(0,31) | 0,30<br>(0,26)    | 23 |
| Dual-Mouse  | 0,61<br>(0,31)   | 0,66<br>(0,29) | 0,34<br>(0,32)    | 0,58<br>(0,25)         | 0,62<br>(0,32) | 0,39<br>(0,32)    | 28 |

Eine weiterführende Analyse der korrekten Vorhersagen in Relation zur Einsatzhöhe sollte Auskunft über die Art des erworbenen Wissens in den verschiedenen Bedingungen geben. Hierzu wurden die Daten der beiden Sequenzen getrennt voneinander ausgewertet. Eine 3 (Bedingung: Dual-Taste vs Motor-Taste vs Dual-Mouse) x 2 (messwiederholt, Einsatzhöhe: Hoch vs Niedrig) ANOVA der relativen Häufigkeiten korrekter Vorhersagen in den Farb-Wettdurchgängen erbrachte hochsignifikante

Haupteffekte für beide Faktoren (Bedingung:  $F_{(2,73)} = 11,72$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,08$ ; Einsatzhöhe:  $F_{(1,73)} = 26,84$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,05$ ) und eine bedeutsame Interaktion ( $F_{(2,73)} = 4,12$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 0,05$ ). Zusätzliche Kontraste innerhalb der drei Versuchsbedingungen gaben Hinweise auf explizites Wissen in der Dual-Mouse-Bedingung ( $F_{(1,73)} = 25,72$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,05$ ) und in der Dual-Tasten-Bedingung ( $F_{(1,73)} = 11,38$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,05$ ). Erwartungsgemäß unterschieden sich die Häufigkeiten korrekter Vorhersagen bei hohen und niedrigen Einsätzen in der Motor-Tasten-Bedingung nicht ( $F_{(1,73)} < 1$ ,  $p = .45$ ). Eine äquivalente Auswertung der Häufigkeiten in den Motorischen-Wettdurchgängen zeigte lediglich einen bedeutsamen Effekt der Einsatzhöhe ( $F_{(1,73)} = 21,66$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,07$ ). Der Einfluss der Versuchsbedingung ( $F_{(2,73)} = 2,20$ ,  $p = .12$ ,  $MSE = 0,09$ ) und die Interaktion beider Faktoren ( $F_{(2,73)} = 0,21$ ,  $p = .81$ ,  $MSE = 0,07$ ) erreichten kein signifikantes Niveau. Explizites Wissen über die motorische Sequenz scheint daher in allen drei Versuchsgruppen vorhanden gewesen zu sein.

Eine anschließende Analyse der Finder-Verteilungen in den verschiedenen Bedingungen bestätigte diesen Eindruck. Die Verteilungen sind in Tabelle 7.17 zusammenfassend dargestellt. In den beiden Dual-Bedingungen fanden sich Versuchspersonen mit explizitem Wissen über die motorische, die perzeptuelle und sogar über beide Sequenzen. Um zu überprüfen ob sich beide Verteilungen unterschieden, wurde die Anzahl der Probanden mit explizitem Wissen über die perzeptuelle Sequenz (Tabelle 7.17: Spalte 1 und Spalte 3) derjenigen der Teilnehmer ohne dieses Wissen (Tabelle 7.17: Spalte 2 und 4) gegenübergestellt. In einem  $\chi^2$ -Test zeigten sich marginal mehr Finder der perzeptuellen Sequenz in der Dual-Mouse-Bedingung als in der Dual-Tasten-Bedingung ( $\chi^2_{(1)} = 3,53$ ,  $p = .06$ ). Ein analoger Vergleich der Finder der motorischen Sequenz ergab keinen Unterschied zwischen diesen beiden Bedingungen ( $\chi^2_{(1)} = 0,11$ ,  $p = .74$ ). Eine Gegenüberstellung der beiden Tastenbedingungen erbrachte eine bedeutsame Häufung von Probanden mit explizitem Wissen über die perzeptuelle Sequenz in der Dual-Tasten-Bedingung ( $\chi^2_{(1)} = 4,01$ ,  $p < .05$ ). Dieser Effekt ließ sich erwartungsgemäß hinsichtlich der motorischen Regularität nicht finden ( $\chi^2_{(1)} = 0,03$ ,  $p < .85$ ).

Tabelle 7.17: Finder-Verteilungen in Experiment 4. Die ersten beiden Spalten enthalten die Anzahl derjenigen Probanden, die entweder explizites Wissen über die perzeptuelle oder über die motorische Sequenz aufwiesen. Die dritte Spalte enthält die Personen, die explizites Wissen für beide Sequenzen zeigten. In der vierten Spalte sind die verbliebenen Probanden ohne explizites Wissen abgetragen.

|             | Finder (per-<br>zeptuell) | Finder (mo-<br>torisch) | Finder<br>(dual) | Nicht-Finder | N  |
|-------------|---------------------------|-------------------------|------------------|--------------|----|
| Dual-Taste  | 2                         | 5                       | 2                | 16           | 25 |
| Motor-Taste | 0                         | 7                       | 0                | 16           | 23 |
| Dual-Mouse  | 10                        | 8                       | 1                | 9            | 28 |

Zum Abschluss der Auswertung wurden die Finder aus der Analyse ausgeschlossen und die relativen Häufigkeiten korrekter Vorhersagen erneut betrachtet. Eine 3 (Bedingung: Dual-Taste vs Motor-Taste vs Dual-Mouse) x 2 (messwiederholt, Wettart: Farben vs Motorisch) ANOVA zeigte marginal bedeutsame Haupteffekte der Bedingung ( $F_{(2,38)} = 2,74$ ,  $p = .08$ ,  $MSE = 0,02$ ) und der Art des Wettdurchgangs ( $F_{(1,38)} = 3,41$ ,  $p = .07$ ,  $MSE = 0,01$ ) sowie eine signifikante Interaktion beider Faktoren ( $F_{(2,38)} = 2,52$ ,  $p = .09$ ,  $MSE = 0,01$ ). Im Gegensatz zu den vorangegangenen Untersuchungen blieben die gefundenen Effekte (Tabelle 7.18) in den relativen Häufigkeiten korrekter Vorhersagen in diesem Experiment auch nach Ausschluss der Probanden mit explizitem Wissen in abgeschwächter Form bestehen. Geplante Kontraste ergaben einen marginal signifikanten Wissensvorteil der Mouse-Gruppe bezüglich der perzeptuellen Sequenz sowohl gegenüber der Dual-Tasten-Bedingung ( $F_{(1,38)} = 3,92$ ,  $p = .05$ ,  $MSE = 0,02$ ) als auch im Vergleich mit der Motor-Tasten-Gruppe ( $F_{(1,38)} = 8,98$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 0,02$ ). Diese Effekte ließen sich hinsichtlich der motorischen Regularität nicht beobachten (beide  $F < 1,5$ , beide  $p > .25$ ). Eine Gegenüberstellung der beiden Gruppen mit Tastatursteuerung zeigte, dass sich die beiden Bedingungen weder hinsichtlich der perzeptuellen ( $F_{(1,38)} = 1,43$ ,  $p = .23$ ) noch der motorischen Sequenz ( $F_{(1,38)} = 1,08$ ,  $p = .30$ ) unterschieden.

Auch die Kontraste innerhalb der einzelnen Bedingungen folgten dem bereits bekannten Muster. In beiden Tasten-Gruppen wurde bedeutend mehr Wissen über die motorische als über die perzeptuelle Sequenz erworben (Dual-Taste:  $F_{(1,38)} = 4,76$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 0,01$ ; Motor-Taste:  $F_{(1,38)} = 6,06$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 0,01$ ). In der Mouse-Bedingung zeigten die Versuchspersonen vergleichbar viel Wissen über beide Sequenzen ( $F_{(1,38)} < 1$ ,  $p = .43$ ). Zudem machten alle Gruppen überzufällig viele korrekte Vorhersagen in Motorischen-Wettdurchgängen (alle  $p < .01$ ). In den Farben-Wettdurchgängen erzielten die beiden Dual-Bedingungen ebenfalls überzufällig hohe Werte (beide  $p < .05$ ). Die Probanden in der Motor-Taste-Bedingung lagen hingegen erwartungsgemäß auf Zufallsniveau ( $p = .35$ ).

Tabelle 7.18: Korrekte Vorhersagen in Experiment 4 nach Ausschluss der Finder. In den ersten drei Spalten sind die relativen Häufigkeiten für alle Farb-Wettdurchgänge insgesamt und in Abhängigkeit der Einsatzhöhe abgetragen. Analog dazu zeigen die folgenden drei Spalten die gleichen Daten für die Motorischen-Wettdurchgänge. Zahlen in Klammern zeigen die Standardabweichungen.

|             | Farb-Vorhersagen |                |                   | Motorische-Vorhersagen |                |                   | N  |
|-------------|------------------|----------------|-------------------|------------------------|----------------|-------------------|----|
|             | Korrekt          | Hoher Einsatz  | Niedriger Einsatz | Korrekt                | Hoher Einsatz  | Niedriger Einsatz |    |
| Dual-Taste  | 0,27<br>(0,10)   | 0,26<br>(0,18) | 0,22<br>(0,08)    | 0,35<br>(0,12)         | 0,37<br>(0,16) | 0,26<br>(0,17)    | 16 |
| Motor-Taste | 0,21<br>(0,05)   | 0,24<br>(0,21) | 0,22<br>(0,14)    | 0,31<br>(0,14)         | 0,31<br>(0,23) | 0,26<br>(0,19)    | 16 |
| Dual-Mouse  | 0,38<br>(0,25)   | 0,35<br>(0,20) | 0,34<br>(0,29)    | 0,34<br>(0,11)         | 0,38<br>(0,16) | 0,38<br>(0,28)    | 9  |

Um sicherzugehen, dass diese Effekte nicht auf Versuchspersonen mit explizitem (Teil-)Wissen zurückzuführen sind, wurde eine Auswertung der korrekten Vorhersagen in Abhängigkeit der Einsatzhöhe durchgeführt. Die Mittelwerte und Standardabweichungen für beide Sequenzen sind in Tabelle 7.18 zusammengefasst.

Eine 3 (Bedingung) x 2 (Einsatzhöhe) Varianzanalyse der relativen Häufigkeiten in den Farb-Wettdurchgängen ergab keine bedeutenden Effekt der Versuchsbedingung ( $F_{(2,38)} = 1,82$ ,  $p = .18$ ,  $MSE = 0,04$ ). Der Haupteffekt der Einsatzhöhe und die Interaktion erreichten ebenfalls kein bedeutsames Niveau (beide  $F < 1$ , beide  $p > .45$ ). In allen drei Gruppen fanden sich keine bedeutenden Unterschiede bezüglich der Häufigkeiten korrekter Vorhersagen bei hohen und niedrigen Einsätzen. Dies spricht dafür, dass sich die gefundenen persistierenden Unterschiede zwischen der Mouse- und der Tastenbedingung nach Ausschluss der Finder nicht auf explizites Teilwissen einzelner Probanden zurückführen lassen. In den Wettdurchgängen mit Vorhersagen über die motorische Sequenz unterschieden sich die Probanden in den drei Versuchsbedingungen ebenfalls nicht voneinander ( $F_{(2,38)} = 1,04$ ,  $p = .36$ ). Auch die Effekte der Einsatzhöhe ( $F_{(1,38)} = 1,72$ ,  $p = .20$ ) und die Interaktion beider Faktoren ( $F_{(2,38)} < 1$ ,  $p = .59$ ) waren nicht bedeutsam.

#### 7.4.3 Experiment 4: Interpretation

Aufgrund der Komplexität des vorliegenden Experiments erscheint eine Zusammenfassung der Ergebnisse sinnvoll. Dazu sollen die Lerneffekte nach Sequenzen getrennt betrachtet werden. Eine erste Analyse der korrekten Vorhersagen in den Wettdurchgängen in der Dual-Tasten-Bedingung erbrachte einen schwachen Lerneffekt hinsichtlich der perzeptuellen Sequenz. Die Mouse-Gruppe zeigte jedoch bedeutend mehr Wissen als die Probanden in der Dual-Tasten-Versuchsbedingung. Erwartungsgemäß war der Anteil korrekter Vorhersagen in der Motor-Tasten-Bedingung nur auf Zufallsniveau. Diese Unterschiede fanden sich hinsichtlich der motorischen Sequenz nicht. Geplante Kontraste innerhalb der drei Versuchsgruppen gaben Hinweise auf unterschiedliche Aufgabenrepräsentationen. Während die beiden Tasten-Gruppen mehr Wissen über die motorische Sequenz zeigten, verfügte die Dual-Mouse-Bedingung über vergleichbar viel Wissen über beide Regularitäten. Dieses Datenmuster blieb auch nach dem Ausschluss der Finder in abgeschwächter Form erhalten. Allerdings unterschieden sich in dieser Auswertung die beiden Gruppen

mit Tastatursteuerung hinsichtlich der perzeptuellen Sequenz nicht mehr voneinander.

Das gefundene Datenmuster spricht für die Möglichkeit, zwei unkorrelierte Regularitäten in verschiedenen Modalitäten parallel erlernen zu können. In den Dual-Bedingungen ließen sich Lerneffekte für beide Sequenzen finden. Eine Integration beider Sequenzen im Sinne von Schmidtke und Heuer (1997) ist aufgrund des genutzten Versuchsmaterials unwahrscheinlich, da die integrierte Sequenz 48 Stellen umfassen müsste und damit nur zweimal pro Aufgabenblock aufgetreten wäre. Zudem war die Wettaufgabe so aufgebaut, dass eine integrierte Sequenzrepräsentation nicht für eine Vorhersage geeignet gewesen wäre. In Wettdurchgängen mit einer geforderten Vorhersage der nächsten Farbe wurde die räumliche Lokation der Reaktionsfelder quasi-randomisiert. Bei der Vorhersage der nächsten motorischen Eingabe wurden alle Reaktionsfelder weiß eingefärbt.

Die Lerneffekte für die perzeptuelle Sequenz waren jedoch in beiden Gruppen verschieden stark ausgeprägt, was die bisherigen Ergebnisse repliziert und auf die unterschiedliche Aufmerksamkeitsausrichtung zurückgeführt werden kann. Durch das verwendete Within-Versuchsdesign konnte überprüft werden, ob die beobachteten Wissensvorteile bezüglich nicht-motorischer Sequenzen mit Einbußen beim Erlernen einer motorischen Regularität einhergehen. Die Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass bei Verwendung der Mouse vergleichbar viel Wissen über beide Regularitäten erworben wurde. Die verstärkte Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf eine Modalität scheint daher nicht zwangsläufig zu Einbußen beim Lernen von Regularitäten in anderen Modalitäten zu führen, was im Kontext der vorliegenden Experimente für einen modularen Aufbau des impliziten Lernsystems im Sinne von Keele und Kollegen (2003) spricht.

Wie schon in den vorangegangenen Experimenten scheint auch in diesem Fall die Aufmerksamkeitsausrichtung einen kritischen Einfluss auf die entstehende Aufgabenrepräsentation gehabt zu haben, da nur bei Verwendung der Mouse vergleichbar



viel Wissen über beide Modalitäten erworben wurde. In der Dual-Taste-Bedingung zeigte sich hingegen mehr Wissen über die komplexere motorische Hybrid-Sequenz als über die deterministische perzeptuelle FOC-Regularität. Obwohl die perzeptuelle Sequenz aufgrund ihrer geringeren Komplexität leichter zu erlernen sein sollte, zeigten sich bei der Verwendung der Tastatur nur geringe Lerneffekte. Es ist wichtig anzumerken, dass die Ergebnisse aus dem zweiten Experiment in diesem Zusammenhang gegen einen Effekt unterschiedlicher Kapazitätsauslastung durch die verschiedenen Eingabemethoden sprechen. Zusammengefasst replizieren und erweitern die Ergebnisse die Befunde aus den vorangegangenen Untersuchungen. In Abhängigkeit der Aufmerksamkeitsausrichtung fanden sich robuste Lerneffekte für die perzeptuelle Regularität. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass dies nicht zwangsläufig mit einem Trade-Off für eine weitere zu erlernende Sequenz einhergeht. Eine weitere Möglichkeit den modularen Aufbau des impliziten Lernsystems zu untersuchen, besteht in der Erweiterung der bisherigen Ergebnisse auf die akustische Modalität.

## 7. 5 Experiment 5: Lernen akustischer Sequenzen

Die Überlegung hinter der fünften und letzten Untersuchung war die mögliche Generalisierbarkeit der bisherigen Befunde auf eine weitere Modalität. Aus dem von Keele und Kollegen (2003) vorgeschlagenen Modell eines modularen impliziten Lernsystems (siehe Kapitel 6) lässt sich die Vorhersage ableiten, dass sich das gefundene Datenmuster auf andere Modalitäten übertragen lässt, da die einzelnen unidimensionalen Module unabhängig voneinander arbeiten.

Darüber hinaus sollte die Generalisierung der bisherigen Effekte der Eingabemethode auf eine andere Modalität die Interpretation der Befunde als Resultat der Aufmerksamkeitsausrichtung erneut überprüfen. Sind die Ergebnisse der ersten vier Untersuchungen tatsächlich auf eine unterschiedliche Aufgabenrepräsentation, hervorgerufen durch Unterschiede in der Aufmerksamkeitsausrichtung zurückzuführen, sollten die gleichen Effekte in allen Modalitäten zu beobachten sein. Das verwendete

Versuchsdesign orientierte sich stark an demjenigen aus dem dritten Experiment, mit dem Unterschied, dass anstatt visueller Stimuli akustisch präsentierte Wörter verwendet wurden.

### 7.5.1 Experiment 5: Methode

**Stichprobe.** An dem Experiment nahmen insgesamt 100 Studierende der Universität zu Köln teil. In der Stichprobe befanden sich 75 Frauen. Das Alter der Teilnehmer variierte zwischen 19 und 39 Jahren ( $M = 23,85$ ,  $STD = 4,33$ ). Die Probanden wurden randomisiert auf die vier Versuchsbedingungen (Akustisch-Mouse, Akustisch-Tasten, Motorisch-Mouse, Motorisch-Tasten) verteilt. Die Vergütung der Teilnahme war identisch mit der in Experiment 1.

**Material.** Im Gegensatz zu den vorangegangenen Experimenten wurden die akustischen Zielreize während des SRT-Trainings in dieser Untersuchung über Kopfhörer dargeboten. Das Stimulusmaterial bestand aus sechs deutschen Wörtern (Held, Herr, Heft, Hemd, Helm, Herd). Um die Stimuli möglichst vergleichbar zu halten, wurden die Wörter anhand ihrer Buchstaben- und Silbenzahl ausgewählt. Zudem hatten alle Wörter den gleichen Anfangsbuchstaben. Die Wörter wurden in der Lautstärke normalisiert und in der Länge auf 500 ms angeglichen. Alle Wörter wurden von der gleichen männlichen Stimme vorgetragen. Die geforderte Reaktion bestand im Ansteuern des entsprechenden Reaktionsfeldes mittels Mouse oder Taste. Die Reaktionsfelder wurden mit den sechs verwendeten Wörtern beschriftet. In den beiden Bedingungen mit motorischer Regularität folgte die Reihenfolge der geforderten Reaktionsfelder der gleichen FOC-Sequenz wie in Experiment 3 (3-5-1-6-4-2). Die Reihenfolge der Wörter war in diesen Bedingungen quasi-randomisiert und ausbalanciert. In den beiden Bedingungen mit akustischer Sequenz wurden die Wörter immer in der gleichen Reihenfolge dargeboten (s. o.). Durch die Neuordnung der Reaktionsfelder in jedem Durchgang war die Abfolge der motorischen Eingaben in den akustischen Sequenzbedingungen ebenfalls quasi-zufällig und ausbalanciert. Der Aufbau

der Wettaufgabe war bis auf die verwendeten Stimuli identisch mit der Wissenserfassung im dritten Experiment.

Versuchsdurchführung. Das Experiment begann mit einer ausführlichen Instruktion und 20 Übungsdurchgängen mit randomisiertem Material. Das anschließende SRT-Training bestand aus acht Aufgabenblöcken mit jeweils 90 Durchgängen. Jeder Durchgang begann mit der Neupositionierung der Reaktionsfelder. Nach 100 ms wurde der akustische Zielreiz präsentiert. Im Anschluss an die Reaktion der Versuchsperson folgte ein RSI von 300 ms bevor der nächste Durchgang begann. Der Startpunkt der Sequenz wurde in jedem Aufgabenblock zufällig ausgewählt. Nach der Trainingsphase wurde die Wettaufgabe zur Wissenserfassung gestartet. Der Ablauf der Wettaufgabe war mit dem 3. Experiment bis auf die veränderten Stimuli identisch.

### 7.5.2 Experiment 5: Ergebnisse

SRT. Die gemittelten Reaktionszeiten und Anteile korrekter Reaktionen über alle Aufgabenblöcke sind in Abbildung 7.19 zusammengefasst. Vier der Teilnehmer wurden aufgrund zu hoher Fehlerraten im SRT-Training von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Die Anzahl der verbliebenen Versuchspersonen in jeder Bedingung sind Tabelle 7.20 zu entnehmen. Eine ANOVA der Reaktionszeiten mit den Variablen Eingabemethode (Mouse vs Taste), Sequenzart (Motorisch vs Akustisch) und Aufgabenblock als messwiederholten Faktor erbrachte signifikante Haupteffekte der Eingabemethode ( $F_{(1,92)} = 9,47, p < .01, MSE = 459261,00$ ) und des Aufgabenblocks ( $F_{(7,644)} = 72,99, p < .01, MSE = 18799,50$ ). Darüber hinaus erreichte die Interaktion zwischen der Sequenzart und dem Aufgabenblock ein bedeutsames Niveau ( $F_{(7,644)} = 3,10, p < .01, MSE = 18799,50$ ). Die Interaktion zwischen der Eingabemethode und dem Aufgabenblock war ebenfalls bedeutsam ( $F_{(7,644)} = 4,66, p < .01, MSE = 18799,50$ ). Die übrigen Effekte waren nicht signifikant (alle  $F < 1$ , alle  $p > .60$ ). Geplante Kontraste der Reaktionszeiten im ersten und letzten Aufgabenblock, zeigten eine signifikante

Beschleunigung in allen Bedingungen (Akustisch-Mouse:  $F_{(1,92)} = 11,60$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 44978,60$ ; Motorisch-Mouse:  $F_{(1,92)} = 27,23$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 44978,60$ ; Akustisch-Tasten:  $F_{(1,92)} = 20,76$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 44978,60$ ; Motorisch-Tasten:  $F_{(1,92)} = 54,98$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = 44978,60$ ). Diese Beschleunigung war in den motorischen Bedingungen besonders stark ausgeprägt ( $F_{(1,92)} = 5,62$ ,  $p < .05$ ,  $MSE = 44978,60$ ).

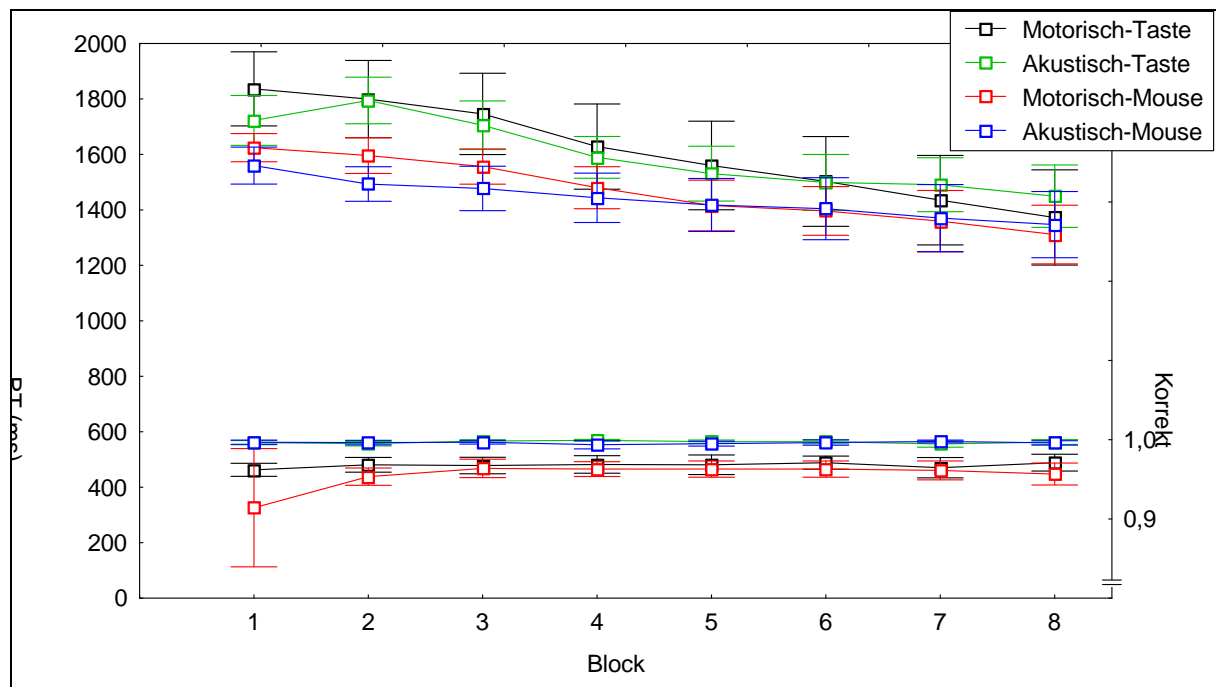


Abbildung 7.19: Reaktionszeiten und Anteile korrekter Eingaben im SRT-Training des fünften Experiments. Auf der Abszisse sind die Aufgabenblöcke des SRT-Trainings abgetragen. Die linke Ordinate zeigt die Reaktionszeiten in Millisekunden. Auf der rechten Abszisse sind die relativen Häufigkeiten korrekter Eingaben abgetragen. Die Fehlerbalken zeigen die Konfidenzintervalle nach Loftus und Masson (1994).

Eine analoge Analyse der Häufigkeiten korrekter Reaktionen ergab lediglich einen bedeutsamen Haupteffekt der Eingabemethode ( $F_{(1,92)} = 97,71$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = ,002445$ ) sowie einen marginalen Haupteffekt der Sequenzart ( $F_{(1,92)} = 3,72$ ,  $p = .06$ ,  $MSE = ,002445$ ) und eine marginal bedeutsame Interaktion beider Faktoren ( $F_{(1,92)} = 2,87$ ,  $p = .09$ ,  $MSE = ,002445$ ). Alle übrigen Effekte waren nicht bedeutsam (alle  $F < 2$ , alle  $p > .15$ ). Wie schon in den vorherigen Untersuchungen machten die Probanden mit Mouse-Steuerung mehr korrekte Eingaben. Wie in Abbildung 7.19 zu sehen ist, lassen sich die übrigen tendenziellen Ergebnisse durch die relativ geringe Korrektheit der Akustisch-Tasten-Bedingung im ersten Aufgabenblock erklären. Eine erneute

Analyse der Daten unter Ausschluss der Daten aus diesem Aufgabenblock erbrachte lediglich den bereits beschriebenen signifikanten Effekt der Eingabemethode ( $F_{(1,92)} = 109,43$ ,  $p < .01$ ,  $MSE = ,002445$ ). Alle anderen Haupteffekte und Interaktionen waren in diesem Fall nicht bedeutsam (alle  $F < 2$ , alle  $p > .15$ ).

Wettaufgabe. Die durchschnittlichen Anteile korrekter Vorhersagen insgesamt und in Abhängigkeit der Einsatzhöhe sind in Tabelle 7.20 zusammenfassend dargestellt. Eine 2 (Eingabemethode: Mouse vs Taste) x 2 (Sequenzart: Akustisch vs Motorisch) ANOVA der korrekten Vorhersagen zeigte überraschenderweise weder einen Effekt der Eingabemethode ( $F_{(1,92)} = 1,67$ ,  $p = .20$ ,  $MSE = 0,09$ ) noch der Sequenzart ( $F_{(1,92)} = 1,93$ ,  $p = .17$ ,  $MSE = 0,09$ ). Auch die Interaktion beider Variablen war nicht bedeutsam ( $F_{(1,92)} = 2,12$ ,  $p = .15$ ,  $MSE = 0,09$ ).

Tabelle 7.20: Korrekte Vorhersagen in der Wetttaufgabe des fünften Experiments. Die ersten Zahlen jeder Zelle geben die gemittelten Vorhersageleistungen über alle Aufgabenblöcke wieder. Die Zahlen in Klammern zeigen die dazugehörigen Standardabweichungen. Die erste Spalte zeigt die relative Häufigkeit korrekter Vorhersagen. In den beiden folgenden Spalten sind die Anteile korrekter Vorhersagen in Abhängigkeit der Einsatzhöhe abgetragen.

|                  | Korrekt     | Hoher Einsatz | Niedriger Einsatz | N       |
|------------------|-------------|---------------|-------------------|---------|
| Akustisch-Mouse  | 0,66 (0,32) | 0,70 (0,32)   | 0,40 (0,35)       | 23 (12) |
| Motorisch-Mouse  | 0,49 (0,28) | 0,50 (0,31)   | 0,38 (0,28)       | 25 (7)  |
| Akustisch-Tasten | 0,49 (0,31) | 0,48 (0,35)   | 0,25 (0,23)       | 25 (8)  |
| Motorisch-Tasten | 0,50 (0,30) | 0,50 (0,32)   | 0,46 (0,33)       | 23 (6)  |

Obwohl die Akustisch-Mouse-Bedingung einen deskriptiven Wissensvorteil zeigte, verhinderten die vergleichsweise großen Varianzen in den Bedingungen einen be-

deutsamen Effekt. Vergleicht man die Varianzen in der Tasten-Kategorien-Bedingung aus Experiment 3 (siehe Tabelle 7.12) mit der Akustisch-Tasten-Bedingung aus dem aktuellen Experiment (siehe Tabelle 7.20) wird ersichtlich, dass die Varianzen bei der Verwendung einer Kategorien-Sequenz etwa ein Viertel der aktuellen Varianz betragen. Diese großen Varianzen lassen sich durch die Verteilungen der Finder in den akustischen Bedingungen erklären. Im Gegensatz zu den vorherigen Experimenten gab es in allen Versuchsgruppen einige Probanden, die explizites Wissen über die Sequenz zeigten (Akustisch-Mouse: 12; Motorisch-Mouse: 7; Akustisch-Tasten: 8; Motorisch-Tasten: 6). Um zu überprüfen, ob sich die Verteilung der Finder zwischen den Bedingungen unterschied, wurde eine Reihe von  $\chi^2$ -Tests durchgeführt. Der einzig marginal signifikante Unterschied ließ sich hierbei im Vergleich der beiden Mouse-Gruppen finden ( $\chi^2_{(1)} = 2,93$ ,  $p = .08$ ). Sowohl der Vergleich der beiden Tasten-Gruppen ( $\chi^2_{(1)} = 0,20$ ,  $p = .65$ ) als auch die Gegenüberstellung der Akustisch-Mouse- und der Akustisch-Tasten-Bedingung ( $\chi^2_{(1)} = 2,01$ ,  $p = .16$ ) erbrachten keine bedeutsamen Unterschiede. Im Gegensatz zu den anderen Experimenten unterschied sich das Ausmaß expliziten Wissens nicht wesentlich zwischen den Bedingungen.

Eine abschließende Analyse sollte klären, ob sich die beobachteten Effekte unter Ausschluss der Finder verändern. Die entsprechenden Mittelwerte und Standardabweichungen korrekter Vorhersagen sind in Tabelle 7.21 abgetragen. Erwartungsgemäß erbrachte eine 2 (Eingabemethode: Mouse vs Taste) x 2 (Sequenzart: Akustisch vs Motorisch) ANOVA der korrekten Vorhersagen insgesamt keinerlei signifikante Haupteffekte oder Interaktionen (alle  $F < 1$ , alle  $p > .30$ ). Jedoch zeigten alle Versuchsbedingungen überzufällig gute Vorhersageleistungen (alle  $p < .01$ ). Eine messwiederholte Varianzanalyse der Häufigkeiten korrekter Vorhersagen bei hohen und niedrigen Einsätzen mit den Variablen Eingabemethode und Sequenzart sollte klären, ob sich diese überzufällig gute Leistung auf Probanden mit explizitem Teilwissen zurückführen ließ. Lediglich für die Interaktion zwischen den Faktoren Eingabemethode und Sequenzart fand sich hierbei eine Tendenz ( $F_{(1,59)} = 2,45$ ,  $p = .12$ ,  $MSE = 0,05$ ). Alle anderen Effekte und Interaktionen waren nicht bedeutsam (alle  $F < 1,9$ ,

alle  $p > .18$ ). In der Akustisch-Mouse-Gruppe zeigte sich eine schwache Tendenz für das Vorhandensein expliziten Wissens, allerdings war diese nicht bedeutsam ( $t_{(10)} = 1,67, p = .12$ )

Tabelle 7.21: Korrekte Vorhersagen in Experiment 5 unter Ausschluss der Finder. Die erste Spalte gibt die relativen Häufigkeiten korrekter Vorhersagen an. Die folgenden beiden Spalten zeigen die Anteile korrekter Vorhersagen in Abhängigkeit der Einsatzhöhe. Zahlen in Klammern stellen die jeweiligen Standardabweichungen dar.

|                 | Korrekt     | Hoher Einsatz | Niedriger Einsatz | N  |
|-----------------|-------------|---------------|-------------------|----|
| Akustisch-Mouse | 0,35 (0,13) | 0,41 (0,21)   | 0,30 (0,13)       | 11 |
| Motorisch-Mouse | 0,33 (0,12) | 0,34 (0,17)   | 0,33 (0,20)       | 18 |
| Akustisch-Taste | 0,30 (0,08) | 0,27 (0,16)   | 0,26 (0,14)       | 17 |
| Motorisch-Taste | 0,34 (0,14) | 0,34 (0,17)   | 0,38 (0,27)       | 17 |

### 7.5.3 Experiment 5: Interpretation

Die Daten des fünften Experiments replizieren die Befunde der vorangegangenen Untersuchungen nur teilweise. In allen Bedingungen wurde Wissen über die verborgene Regularität erworben. Dieser Effekt bestand auch nach dem Ausschluss der Finder, was auf das Vorhandensein impliziten Wissens schließen lässt. Allerdings war der Effekt der Aufmerksamkeitsausrichtung nur deskriptiv zu beobachten.

Eine Möglichkeit, diese misslungene Replikation der vorangegangenen Befunde zu erklären, stellen die verwendeten sprachlichen Stimuli dar. Durch die sprachliche Natur der Reize könnten die Probanden verstärkt einen Rehearsal-Prozess bei der Bearbeitung genutzt haben. Da die genutzte akustische Sequenz vergleichsweise we-

nig komplex war, bestünde durch die ständige subvokale Wiederholung der Stimuli eine erhöhte Wahrscheinlichkeit die Regularität zu entdecken. Ein ähnlicher Effekt wurde von Zirngibl und Koch (2002) berichtet. Die Autoren manipulierten die Eingabemethode in einer SRT-Aufgabe und ließen ihre Versuchspersonen entweder verbal oder motorisch auf die Zielreize reagieren. Die Autoren berichteten von bedeutend mehr explizitem Wissen bei verbalen Reaktionen, obwohl die Regularität in ihrem Experiment deutlich komplexer war.

Die Bedeutung einer sprachlichen Repräsentation wird darüber hinaus auch bei der Bildung eines Handlungsplans offensichtlich. Tubau, Hommel und López-Moliner (2007) konnten in diesem Zusammenhang zeigen, dass verbale Stimuli und eine daraus entstehende verbale Aufgabenrepräsentation die Lerneffekte verstärkten. Die Autoren unterscheiden zwischen stimulus- und planbasierter Verhaltenskontrolle. Im ersten Fall wird auf präsentierte Stimuli mit einer vorbereiteten automatischen Reaktion geantwortet (Hommel, 2000). Das Verhalten wird also von externen Reizen gesteuert. Planbasiertes Vorgehen erfordert dahingegen zunächst die Konstruktion eines Handlungsplans, welcher aus geordneten Repräsentationen der Handlungseffekte besteht. Die Verhaltenssteuerung erfolgt in diesem Fall durch die internen Repräsentationen und ist nicht länger stimulusabhängig. Tubau und Kollegen nehmen an, dass Handlungspläne meist in verbaler Form vorliegen, sodass durch eine bereits im verbalen Code vorliegende Stimulusrepräsentation die Bildung eines Handlungsplans erleichtert wird.

Es besteht daher die Möglichkeit, dass der Effekt der Aufmerksamkeitsausrichtung durch die Auswirkung der sprachlichen Stimuli in der vorliegenden Untersuchung überlagert wurde bzw. mit dieser interagierte, da sich der Effekt der sprachlichen Reize auf die akustische Sequenz beschränkte. Vergleicht man die relativen Häufigkeiten korrekter Vorhersagen in den Experimenten 3 und 5 zeigt sich für die Gruppen mit Mouse-Steuerung kein Unterschied hinsichtlich des motorischen Sequenzwissens ( $t_{(43)} = 0,91$ ,  $p = .37$ ). Gleiches gilt für die entsprechenden Versuchsgruppen



mit Tasten-Steuerung ( $t_{(41)} = 0,21$ ,  $p = .84$ ). Im Gegensatz dazu zeigt die akustische Mouse-Bedingung im vorliegenden Experiment verglichen mit der perzeptuellen Mouse-Bedingung in der ersten Untersuchung ( $t_{(41)} = 1,67$ ,  $p = .10$ ) zumindest einen leichten Trend zu mehr Wissen über die Sequenz. Dieser Effekt ist in der Gegenüberstellung der beiden Tasten-Bedingungen noch weitaus stärker ausgeprägt ( $t_{(42)} = 2,59$ ,  $p < .01$ ). Um den Effekt der Aufmerksamkeitsausrichtung in der akustischen Modalität weiter zu untersuchen, erscheint es daher sinnvoll, nicht-sprachliche Reize zu verwenden. Diese und andere Implikationen der vorliegenden Experimente sollen in der anschließenden Diskussion zusammengefasst werden.

## 8. Diskussion

Für ein besseres Verständnis sollen zunächst die Fragestellungen und Ergebnisse der durchgeführten Ergebnisse zusammengefasst dargestellt werden. Im ersten Experiment wurde die Möglichkeit des Erlernens einer rein perzeptuellen Sequenz in einer inzidentellen Lernsituation untersucht. Ferner wurde der Frage nachgegangen, inwiefern eine Manipulation der Aufmerksamkeitsausrichtung die auftretenden Lernprozesse moderiert. Dazu wurde die Eingabemethode variiert und das erworbene Wissen nach dem SRT-Training mit der Wettaufgabe erfasst. Verglichen mit Kontrollbedingungen ohne SRT-Training zeigten die Probanden in den Experimentalbedingungen robuste Lerneffekte. Das Ausmaß und die Qualität des Wissens waren jedoch abhängig von der Aufmerksamkeitsausrichtung. Während Versuchspersonen unter Verwendung der Mouse vermehrt explizites Wissen über die Sequenz erwerben, konnte das Wissen in der Tastenbedingung als implizit gewertet werden. Die Wissensvorteile der Mouse-Bedingung verschwanden nach dem Ausschluss der Finder.

Im zweiten Experiment wurde überprüft, ob sich die im ersten Experiment beobachteten Effekte auf die unterschiedliche Kapazitätsauslastung durch die Eingabemethoden zurückführen ließen. Dazu wurden farbige und farblose Formreize in Kombination mit der Tastatursteuerung verwendet. Trotz der zusätzlich benötigten Transformation der Form in die korrespondierende Farbe des jeweiligen Reaktionsfeldes in der Nur-Form-Bedingung, zeigte diese Gruppe mehr Wissen als die übrigen Versuchsteilnehmer. Zudem konnten die Ergebnisse aus der ersten Untersuchung repliziert werden, da sich die Versuchsgruppen nach dem Ausschluss der Finder nicht weiter unterschieden. Diese Ergebnisse sprechen insgesamt gegen die Kapazitätsannahme.

Die im dritten Experiment bearbeitete Fragestellung betraf die Art der Aufgabenrepräsentation in Abhängigkeit der Aufmerksamkeitsausrichtung. Zudem wurde untersucht, ob die verstärkte Aufmerksamkeitsausrichtung auf die visuelle Modalität

unter Mouse-Steuerung zu Einbußen beim Erlernen einer motorischen Sequenz führt. Dazu wurden Exemplare verschiedener semantischer Kategorien als Zielreize verwendet. Es zeigte sich, dass die Mouse-Gruppen vergleichbar viel Wissen über beide Sequenzen erwarben, während bei der Eingabe via Tastatur bedeutend weniger Wissen über die semantische Sequenz als über die motorische Sequenz erworben wurde. Wie in den vorangegangenen Experimenten konnten die Befunde auf vermehrtes explizites Wissen über die semantische Sequenz in der Mouse-Bedingung zurückgeführt werden. Die Befunde wurden im Sinne qualitativer Unterschiede in der Aufgabenrepräsentation, hervorgerufen durch die unterschiedliche Aufmerksamkeitsausrichtung, interpretiert.

Darauf aufbauend wurden im vierten Experiment zwei unkorrelierte Sequenzen in verschiedenen Modalitäten parallel dargeboten, um einen möglichen modularen Aufbau des impliziten Lernsystems zu untersuchen. Darüber hinaus sollte mit diesem Within-Design erneut geprüft werden, ob der Effekt der Aufmerksamkeitsausrichtung im Sinne eines Trade-Offs zu verstehen ist. Die Probanden in der Dual-Mouse-Bedingung zeigten bezüglich der perzeptuellen Sequenz mehr Wissen als die Dual-Tasten-Gruppe, welche sich nur marginal von einer Kontrollbedingung ohne perzeptuelle Sequenz unterschied. Bezüglich der motorischen Regularität unterschieden sich die drei Versuchsgruppen nicht voneinander. Im Gegensatz zu den im Vorfeld durchgeführten Experimenten blieben diese Effekte auch nach Ausschluss der Finder in abgeschwächter Form erhalten. Dieser Befund wird weiter unten im Text ausführlicher diskutiert.

Im abschließenden Experiment wurde die Generalisierbarkeit der Befunde auf die akustische Modalität geprüft. Zwar fanden sich auch in dieser Untersuchung robuste Lerneffekte für die nicht-motorische (akustische) Sequenz, allerdings zeigte sich der Wissensvorteil der Mouse-Bedingung nur tendenziell. Im Gegensatz zu den ersten vier Experimenten erwarben auch die Probanden in der Tasten-Bedingung vermehrt Wissen über die akustische Sequenz. Eine Möglichkeit, diese nur teilweise geglückte

Replikation zu erklären, besteht in den verwendeten sprachlichen Zielreizen, die eine sprachbasierte Repräsentation und damit eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für die Bewusstwerdung der akustischen Regularität bedingten.

Diese Ergebnisse sind von hoher Relevanz für die in Kapitel 6 vorgestellten Modelle von Willingham (1998) sowie von Keele und Kollegen (2003). In allen Experimenten zeigten sich implizite Lerneffekte für nicht-motorische Sequenzen. Diese Befunde sind problematisch für die von Willingham postulierte notwendige Beteiligung der Motorik. Eine zwangsläufige Repräsentation der Sequenz in Form von Bewegungszielen hätte in den vorliegenden Untersuchungen keine Lerneffekte erbringen können, da die Sequenzen vollständig von der Motorik entkoppelt waren. Auch die angenommene Einheitlichkeit (siehe Kapitel 6) des impliziten Lernsystems ist vor dem Hintergrund der aktuellen Untersuchungsreihe kritisch zu betrachten. Besonders Experiment 4 lässt den Schluss zu, dass mehrere unkorrelierte Sequenzen parallel gelernt werden können und repliziert damit Befunde früherer Arbeiten (z. B. Jiménez & Méndez, 1999, 2001; Mayr, 1996).

Diese Möglichkeit parallelen Lernens lässt sich mit dem von Keele und Kollegen (2003) vorgeschlagenen modularen Aufbau impliziter Lernprozesse vereinbaren. Im Rahmen dieses Modells werden mehrere unidimensionale Module und ein modalitätsübergreifendes multidimensionales Modul postuliert. Es kann angenommen werden, dass im vierten Experiment verschiedene unidimensionale Module für die beobachteten impliziten Lerneffekte verantwortlich waren. Allerdings ist das gefundene explizite Wissen über beide Sequenzen in diesem theoretischen Rahmen nicht zu erklären. Nach Keele und Kollegen sind nur Inhalte des multidimensionalen Moduls bewusstseinsfähig. Im Rahmen dieses Moduls werden störende Effekte von Zweitaufgaben durch die Integration der Distraktoren in die primär zu lernende Sequenz erklärt. Zwar wird für das multidimensionale Modul eine Abhängigkeit von selektiver Aufmerksamkeit angenommen, jedoch spricht das gefundene Wissen über beide Sequenz dafür, dass die Aufgabenrepräsentation (zumindest bei Verwendung

der Mouse) beide Modalitäten enthielt. Es wäre daher im Keele'schen Sinne eine Integration beider Sequenzen zu erwarten gewesen. Der Aufbau der verwendeten Wettaufgabe stellte jedoch sicher, dass Wissen über eine Regularität keinen Vorteil bei der Vorhersage der anderen Regularität erbringen konnte. Eine Integration beider Sequenzen in eine modalitätsübergreifende Farben-Tasten-Repräsentation erscheint daher unwahrscheinlich. Eine Möglichkeit die vorliegenden Daten mit dem Modell in Einklang zu bringen besteht in der zusätzlichen Annahme, dass die Integration nicht zwangsläufig geschehen muss. Allerdings müssten in diesem Fall die Determinanten für das Einsetzen des Integrationsprozesses genauer spezifiziert werden.

Unabhängig von der Fragestellung zum modularen Aufbau des impliziten Lernsystems scheint die Art der entstehenden Aufgabenrepräsentation auch maßgeblich von der Ausrichtung der Aufmerksamkeit abhängig zu sein. In vier der insgesamt fünf durchgeführten Experimente zeigten sich robuste Einflüsse der Eingabemethode auf das erworbene Sequenzwissen. Dies spricht für einen selektiven impliziten Lernmechanismus. Der Wirkmechanismus der Aufmerksamkeitsausrichtung lässt sich über die unterschiedlichen Aufgabenrepräsentationen erklären. Besonders im dritten Experiment wurden diese Unterschiede deutlich. In Anbetracht der Befunde von Wenke und Frensch (2005) sowie Gaschler und Kollegen (submitted) lässt sich annehmen, dass die Manipulation der Eingabemethode zu qualitativ verschiedenen Aufgabenrepräsentationen geführt hat und als Folge dessen, verstärkt implizite Lernprozesse für diejenigen Regularitäten auftraten, deren Modalität Teil dieser Repräsentation waren.

Diese Unterschiede ließen sich jedoch auf eine selektive Häufung expliziten Wissens über die nicht-motorischen Regularitäten unter Verwendung der Mouse zurückführen. Vor dem Hintergrund der in Abschnitt 3.3.2 und Kapitel 4 vorgestellten UEHypothese (z. B. Frensch et al., 2003; Haider & Frensch, 2005, 2009) lässt sich dieses Wissen als das Ergebnis einer inzidentellen Lernsituation und der Interaktion impliziter und expliziter Prozesse verstehen. Im Rahmen der UEH wird explizites Wissen

als das Ergebnis von Such- und Attributionsprozessen infolge unerwarteter Ereignisse modelliert. Somit gibt das Ausmaß expliziten Wissens indirekt auch Aufschluss über das Wirken impliziter Prozesse, da beispielsweise besonders schnelle Reaktionen auf einen Reiz oder ein Erleben von Verarbeitungsflüssigkeit als Auslöser für die genannten expliziten Suchprozesse dienen können. Diese Phänomene treten jedoch gemeinhin erst im Verlauf des SRT-Trainings auf und sind ein Ergebnis impliziter Lernprozesse. Zwar können sich auch die expliziten Prozesse in Abhängigkeit der Eingabemethode unterscheiden, da die Unterschiede im Wissen über die perzeptuelle Sequenz im vierten Experiment jedoch auch nach Ausschluss der Finder erhalten bleiben, scheidet diese Erklärungsmöglichkeit aus. Alternativ besteht die Möglichkeit, Unterschiede in den impliziten Lernprozessen anzunehmen. Grundsätzlich könnten diese persistierenden Wissensvorteile der Mouse-Bedingung im vierten Experiment auch durch die Eigenschaften der genutzten Wettaufgabe entstanden sein. Denn obwohl die Probanden in der Wissenserfassung nur wenig Feedback über die Korrektheit ihrer Vorhersagen in Form ihres Spielkontostandes erhielten, können zumindest minimale zusätzliche Lerneffekte im Verlauf der Wettaufgabe nicht vollständig ausgeschlossen werden (siehe Abschnitt 2.4). Durch die erhöhte Schwierigkeit der Wettaufgabe im vierten Experiment, hervorgerufen durch den ständigen Wechsel zwischen den Abfragetypen, sollten diese Lerneffekte jedoch zusätzlich minimiert worden sein. Das im vierten Experiment gezeigte implizite Wissen sollte daher am wenigsten durch zusätzliche explizite Lernprozesse in der Wettaufgabe kontaminiert gewesen sein. Es ist daher möglich, dass eine künstliche Erschwerung der Wettaufgabe in eventuell folgenden Untersuchungen ebenfalls zu bedeutsamen Unterschieden auch nach Ausschluss der Finder führt. Darüber hinaus könnten komplexere probabilistische Sequenzen die Wahrscheinlichkeit des Entstehens expliziten Wissens minimieren und so zusätzliche Erkenntnisse über die Effekte der Aufmerksamkeitsausrichtung bei rein implizitem Wissen liefern.

Neben dieser Implikation für weitere Studien sind noch andere weiterführende Untersuchungen denkbar. In Anbetracht des theoretischen Rahmens der UEH könnten

beispielsweise künstlich erzeugte unerwartete Ereignisse mehr Aufschluss über die Entstehung expliziten Wissens in Abhängigkeit der Eingabemethode geben. Da vor dem Hintergrund der UEH ein qualitativer Repräsentationswechsel, bei der Entstehung von Bewusstsein angenommen wird (Frensch et al., 2003), könnten unerwartete Ereignisse zu einer Umstrukturierung der Aufgabenrepräsentation führen und so den Effekt der Aufmerksamkeitsausrichtung moderieren.

Eine weitere Möglichkeit für zukünftige Forschung liegt in der Betrachtung der Interaktion zwischen den in Kapitel 5 vorgestellten Komponenten von Aufmerksamkeit und deren Auswirkungen auf implizite Lernprozesse. Lavie (z. B. 2005) nimmt an, dass der Selektionsprozess selbst Anforderungen an die kognitiven Ressourcen stellt und somit auch von den Anforderungen der gestellten Aufgabe abhängig ist. Ein hoher Perceptual-Load führt beispielsweise dazu, dass mehr Ressourcen für den Selektionsprozess benötigt werden und somit eventuelle Distraktoren, oder im Kontext impliziten Sequenzlernens, zusätzliche Regularitäten nicht mehr verarbeitet werden. In Anlehnung an diese Ergebnisse untersuchten Rowland und Shanks (2006) paralleles Lernen zweier unabhängiger Sequenzen und manipulierten die Höhe des Perceptual-Loads. Die Autoren fanden nur bei geringer Belastung implizite Lerneffekte für die Sekundärsequenz. Jedoch war die Modalität beider Sequenzen identisch. Daher erscheint eine Replikation dieser Befunde mit unabhängigen Regularitäten in verschiedenen Modalitäten sinnvoll, um die Effekte der Aufmerksamkeitsausrichtung genauer zu beleuchten.

Ferner sollten besonders vor dem Hintergrund der nur teilweise erfolgreichen Replikation der Befunde im fünften Experiment die Rolle der sprachlichen Qualität der Stimuli auf implizite Lernprozesse und die Entstehung von Bewusstsein untersucht werden. Dazu könnte zunächst das fünfte Experiment mit nicht-sprachlichem Material (für die Verwendung einer Sequenz aus Tönen siehe z. B. Buchner, Steffens, Erdfelder und Rothkegel, 1997) repliziert werden. Eine andere Möglichkeit bestünde in der Verwendung einer perzeptuellen Sequenz mit modifiziertem Reizmaterial. Da

nicht auszuschließen ist, dass die Probanden auch in den anderen durchgeführten Experimenten eine sprachbasierte Repräsentation des Stimulusmaterials entwickelten, ist eine mögliche Konfundierung der Effekte der Aufmerksamkeitsausrichtung durch den Faktor Sprache nicht gänzlich auszuschließen. Um sich diesem Problem zu nähern, könnten schwer zu verbalisierende Reize (z. B. abstrakte Strichzeichnungen) im Rahmen einer perzeptuellen Sequenz verwendet werden.

Neben den Implikationen der vorgelegten Ergebnisse für die Struktur impliziter Lernprozesse, lassen sich die Befunde auch im Rahmen der Frage nach der Entstehung von Bewusstsein interpretieren. In Abschnitt 3.2 wurden diesbezüglich quantitative (z.B. Cleeremans, 2002) und qualitative (Dienes & Perner, 1999, Haider & Frensch, 2005; 2009) Veränderungen der Repräsentation diskutiert. Ebenso wie in den Ergebnissen von Haider et al. (in press) zeigt sich eine klare Trennung zwischen Versuchspersonen mit explizitem Wissen und solchen Probanden die lediglich über implizites Wissen verfügen. Nach Ausschluss der Finder fanden sich in den vorliegenden Daten keinerlei Hinweise auf explizites Teilwissen über die Sequenz. Nimmt man jedoch an, dass Bewusstsein ein graduelles Phänomen und das Ergebnis eines rein quantitativen Verstärkungsprozesses ist (z. B. Cleeremans, 2006) sollten zumindest einige Probanden ihr Wissen nur teilweise zur Gewinnmaximierung nutzen können. Die nahezu dichotome Verteilung von explizitem Wissen zwischen Findern und Nicht-Findern spricht eher für ein Entstehen von Bewusstsein nach einem Alles-oder-Nichts-Prinzip und damit für einen qualitativen Repräsentationswechsel. Allerdings räumten bereits Haider et al. (in press) ein, dass die verwendete FOC-Sequenz durch ihre eher simple Struktur diese Art von Verteilung begünstigt und daher eventuell nicht sonderlich dazu geeignet ist, Bewusstsein als graduelles Phänomen zu erfassen. Obwohl im vierten Experiment bereits unter anderem eine etwas komplexere Hybrid-Sequenz verwendet wurde und dabei ähnliche Ergebnisse beobachtet werden konnten, erscheint vor diesem Hintergrund eine Replikation der vorliegenden Befunde mit einer noch komplexeren SOC- oder Hybrid-Sequenz lohnenswert.



Zusammengefasst sprechen die beobachteten Effekte jedoch zunächst für einen selektiven und modalitätsspezifischen impliziten Lernmechanismus. Das verwendete Paradigma bietet die Möglichkeit, implizites Lernen in verschiedenen Modalitäten zu untersuchen, da hier die motorische Komponente gezielt ausgeschaltet werden kann. Durch die Verwendung der Wettaufgabe zur Wissenserfassung lassen sich zudem Aussagen über die Art des erworbenen Wissens tätigen, was für die andauernde Diskussion über die Existenz und die Struktur impliziter Lernmechanismen von großem Vorteil ist. Ein weiterer Vorteil des verwendeten Paradigmas besteht in der selektiven Manipulation der Aufmerksamkeitsausrichtung. Frühere Untersuchungsreihen manipulierten die Aufmerksamkeitsausrichtung meist in Dual-Task-Studien, bei denen die zusätzlich Stimuli oder Stimuluseigenschaften entweder beachtet oder nicht beachtet werden sollten (z. B. Jiménez und Méndez, 1999; 2001). Daraus ergibt sich jedoch eine mögliche Konfundierung der Konzepte selektiver Aufmerksamkeit und Aufmerksamkeit als Ressource, da unklar ist, inwiefern die zusätzliche Belastung durch die Dual-Task-Situation die Aufmerksamkeitsausrichtung beeinflusst. Dieses Problem kann mit dem hier verwendeten Paradigma umgangen werden. Somit stellt das Paradigma eine gute Möglichkeit zur isolierten Untersuchung der Effekte der Aufmerksamkeitsausrichtung auf das implizite Sequenzlernen dar.

## 9. Literatur

- Altman, G. T. M., Dienes, Z., & Goode, A. (1995). Modality independence of implicitly learned grammatical knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21, 899-912.
- Aydede, M. (2010). The Language of Thought Hypothesis. Abgerufen: 4. 1. 2011, <http://plato.stanford.edu/entries/language-thought/>
- Baars, B. J. (1988). *A Cognitive Theory of Consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Baars, B. J. (1996). Understanding Subjectivity: Global Workspace Theory and the Resurrection of the Observing Self. *Journal of Consciousness Studies*, 3(3), 211-216.
- Baars, B. J. (1997). In *The Theatre Of Consciousness: Global Workspace Theory, A Rigorous Scientific Theory of Consciousness*. *Journal of Consciousness Studies*, 4(4), 292-309.
- Baars, B. J. (2003). The global brainweb: An update on global workspace theory. Abgerufen: 20. 2. 2011, [http://cogweb.ucla.edu/CogSci/Baars-update\\_03.html](http://cogweb.ucla.edu/CogSci/Baars-update_03.html)
- Berry, D. C., & Broadbent, D. E. (1984). On the relationship between task performance and associated verbalizable knowledge. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 36A(2), 209-231.
- Berry, D. C., & Broadbent, D. E. (1987). The combination of explicit and implicit learning processes in task control. *Psychological Research*, 49(1), 7-15.
- Berry, D. C., & Broadbent, D. E. (1988). Interactive tasks and the implicit-explicit distinction. *British Journal of Psychology*, 79(2), 251-272.
- Blackmore, S. (2005). *Conversations on Consciousness*. Oxford: Oxford University Press.
- Block, N. (1995). On a confusion about a function of consciousness. *Behavioral and Brain Sciences*, 18(227-287).

- Boyer, M., Destrebecqz, A., & Cleeremans, A. (2005). Processing abstract sequence structure: learning without knowing, or knowing without learning? *Psychological Research*, 69, 383–398.
- Broadbent, D. E., & Aston, B. (1978). Human Control of a Simulated Economic System. *Ergonomics*, 21(12), 1035-1043.
- Broadbent, D. E., Fitzgerald, P., & Broadbent, M. H. (1986). Implicit and explicit knowledge in the control of complex systems. *British Journal of Psychology*, 77(1), 33-50.
- Buchner, A., Funke, J., & Berry, D. C. (1995). Negative correlations between control performance and verbalizable knowledge: Indicators for implicit learning in process control tasks? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 48A(1), 166-187.
- Buchner, A., & Steffens, M. C. (2001). Simultaneous learning of different regularities in sequence learning tasks: limits and characteristics. *Psychological Research*, 65(2), 71-80.
- Buchner, A., Steffens, M. C., Erdfelder, E., & Rothkegel, R. (1997). A Multinomial Model to Assess Fluency and Recollection in a Sequence Learning Task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 50(3), 631-663.
- Buchner, A., Steffens, M. C., & Rothkegel, R. (1998). On the Role of Fragmentary Knowledge in a Sequence Learning Task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 51(2), 251-281.
- Carruthers, P. (2007). Higher-Order Theories of Consciousness. Abgerufen: 3. 1. 2011, <http://plato.stanford.edu/entries/consciousness-higher/>
- Chalmers, D. J. (1995a). Facing up the problem of consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, 3, 200-219.
- Chalmers, D. J. (1995b). The puzzle of conscious experience. *Scientific American*, 273(6), 62-68.
- Chun, M. M., & Jiang, Y. (1998). Contextual Cueing: Implicit Learning and Memory of Visual Context Guides Spatial Attention. *Cognitive Psychology*, 36, 28-71.

- Chun, M. M., & Jiang, Y. (1999). Contextual Cueing: Implicit Learning and Memory of Visual Context Guides Spatial Attention. *Psychological Science*, 10(4), 360-365.
- Churchland, P. M. (1996). The rediscovery of light. *Journal of Philosophy*, 93, 211-228.
- Churchland, P. S. (1996). The hornswoggle Problem. *Journal of Consciousness Studies*, 3, 402-408.
- Cleeremans, A. (2002). Handlung und Bewusstsein: Ein Rahmenkonzept für den Fertigkeitserwerb. *Psychologie und Sport*, 9(1), 2-19.
- Cleeremans, A. (2006). Conscious and unconscious cognition: A graded, dynamic, perspective. *Progress in Psychological Science around the world. Vol I. Neural, Cognitive and Developmental Issues*, 401-418.
- Cleeremans, A., Destrebecqz, A., & Boyer, M. (1998). Implicit learning: news from the front. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(10), 406-416.
- Cleeremans, A., & Jiménez, L. (2002). Implicit learning and consciousness: A graded, dynamic perspective. In M. A. French & A. Cleeremans (Eds.), *Implicit Learning and Consciousness*, 1-40. Hove: Psychology Press.
- Cleeremans, A., & McClelland, J. L. (1991). Learning the structure of event sequences. *Journal of Experimental Psychology: General*, 120(3), 235-253.
- Cock, J. J., Berry, D. C., & Buchner, A. (2002). Negative priming and sequence learning. *European Journal of Cognitive Psychology*, 14, 14-28.
- Cohen, A., & Curran, T. (1993). On tasks, knowledge, correlations, and dissociations: Comment on Perruchet and Amorim (1992). *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19(6), 1431-1437.
- Cohen, A., Ivry, R. I., & Keele, S. W. (1990). Attention and structure in sequence learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16(1), 17-30.
- Crick, F., & Koch, C. (1990). Towards a neobiological theory of consciousness. *Seminar in the Neurosciences*, 2, 263-275.

- Crick, F., & Koch, C. (1992). The problem of consciousness. *Scientific American*, 267(3), 153-159.
- Crick, F., & Koch, C. (1995). Are we aware of neural activity in primary visual cortex? *Nature*, 375, 121-123.
- Crick, F., & Koch, C. (1998). Consciousness and Neuroscience. *Cerebral Cortex*, 8, 97-107.
- Crick, F., & Koch, C. (2003). A Framework for Consciousness. *Nature Neuroscience*, 6(2), 119-126.
- Curran, T., & Keele, S. W. (1993). Attentional and Nonattentional Forms of Sequence Learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 19(1), 189-202.
- Dehaene, S., & Changeux, J.-P. (2003). Neural Mechanisms for Access to Consciousness. In E. Gazzaniga, I. Bizzi & B. Black (Eds.), *The cognitive neurosciences* (3. Auflage), 1145-1157. New York: Norton.
- Dehaene, S., Changeux, J.-P., Naccache, L., Sackur, J., & Sergent, C. (2006). Conscious, preconscious, and subliminal processing: a testable taxonomy. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(5), 204-211.
- Dehaene, S., & Naccache, L. (2001). Towards a cognitive neuroscience of consciousness: basic evidence and a workspace framework. *Cognition*, 79, 1-37.
- Dennett, D. (1988). Quining Qualia. In A. Marcel & E. Bisiach (Eds.), *Consciousness in Modern Science* (pp. 381-414). Oxford: Oxford University Press.
- Dennett, D. (1991). *Consciousness explained*. Boston: Little, Brown.
- Dennett, D. (1996a). Consciousness: more like fame than television [Bewusstsein hat mehr mit Ruhm als mit Fernsehen zu tun]. In C. Maar, E. Pöppel & T. Christaller (Eds.), *Die Technik auf dem Weg zur Seele*, 43-67. München: Rowohlt.
- Dennett, D. (1996b). Facing Backwards on the Problem of Consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, 3(1), 4-6.
- Deroost, N., & Soetens, E. (2006). Spatial processing and perceptual sequence learning in SRT tasks. *Experimental Psychology*, 53(1), 16-30.

- Deroost, N., Zeischka, P., & Soetens, E. (2008). Negative priming in the SRT task: Learning of irrelevant sequences is enhanced by concurrent learning of relevant sequences. *European Journal of Cognitive Psychology*, 20(1), 47-68.
- Destrebecqz, A., & Cleeremans, A. (2001). Can sequence learning be implicit? New evidence with the process dissociation procedure. *Psychonomic Bulletin and Review*, 8(2), 343-350.
- Destrebecqz, A., & Cleeremans, A. (2003). Temporal effects in sequence learning. In L. Jiménez (Ed.), *Attention and Implicit Learning*, 181-213. Amsterdam: John Benjamins.
- Dienes, Z. (2004). Assumptions of subjective measures of unconscious mental states: Higher order thoughts and bias. *Journal of Consciousness Studies*, 11, 25-45.
- Dienes, Z., Altmann, G. T. M., Kwan, L., & Goode, A. (1995). Unconscious knowledge of artificial grammars is applied strategically. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21(5), 1322-1338.
- Dienes, Z., & Berry, D. (1997). Implicit learning: Below the subjective threshold. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4(1), 3-23.
- Dienes, Z., Broadbent, D., & Berry, D. C. (1991). Implicit and explicit knowledge bases in artificial grammar learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 17(5), 875-887.
- Dienes, Z., & Fahey, R. (1995). Role of specific instances in controlling a dynamic system. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21(4), 848-862.
- Dienes, Z., & Perner, J. (1996). Implicit knowledge in people and connectionist networks. In G. D. M. Underwood (Ed.), *Implicit cognition*, 227-255. New York: Oxford University Press.
- Dienes, Z., & Perner, J. (1999). A theory of implicit and explicit knowledge. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, 735-808.
- Dienes, Z., & Perner, J. (2002a). The metacognitive implications of the implicit-explicit distinction. In M. Izaute, M. Chambres & P.-J. Marescaux (Eds.),

- Metacognition: Process, function, and use, 171-190. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Dienes, Z., & Perner, J. (2002b). What sort of representation is conscious? *Behavioral and Brain Sciences*, 25, 336-337.
- Dienes, Z., & Perner, J. (2004). Assumptions of a subjective measure of consciousness: Three mappings. In R. Gennaro (Ed.), *Higher order theories of consciousness*, 173-199. Amsterdam: John Benjamins Publishers.
- Dienes, Z., & Scott, R. (2005). Measuring unconscious knowledge: Distinguishing structural knowledge and judgment knowledge. *Psychological Research/Psychologische Forschung*, 69(5-6), 338-351.
- Dietrich, A. (2007). *Introduction to Consciousness*. New York: Palgrave Macmillan.
- Dulany, D. E., Carlson, R. A., & Dewey, G. I. (1984). A case of syntactical learning and judgment: How conscious and how abstract? *Journal of Experimental Psychology: General*, 113(4), 541-555.
- Engel, A. K., Fries, P., König, P., Brecht, M., & Singer, W. (1999). Temporal Binding, Binocular Rivalry, and Consciousness. *Consciousness and Cognition*, 8, 128-151.
- Engel, A. K., & Singer, W. (2001). Temporal binding and the neuronal correlates of sensory awareness. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(1), 16-25.
- Ericsson, K. A., & Simon, H. A. (1980). Verbal Report as Data. *Psychological Review*, 87(3), 215-251.
- Field, H. (1978). Mental Representation. *Erkenntnis*, 13(1), 9-61.
- Fodor, J. A. (1978). Propositional Attitudes. *The Monist*, 61, 501-523.
- Fodor, J. A. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge: MIT Press.
- Frensch, P. A. (1998). Same Concepts, Multiple Meanings: On how to define the concept of implicit learning. In M. A. Stadler & P. A. Frensch (Eds.), *Handbook of Implicit Learning*, 47-104. Thousand Oaks: Sage
- Frensch, P. A., Buchner, A., & Lin, J. (1994). Implicit Learning of Unique and Ambiguous Serial Transitions in the Presence and Absence of a Distractor

- Task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 20(3), 567-584.
- Frensch, P. A., Haider, H., R nger, D., Neugebauer, U., Voigt, S., & Werg, J. (2003). Verbal Report of Incidentally Experienced Environmental Regularity: The Route from Implicit Learning to Verbal Expression of What Has Been Learned. In L. Jim nez (Ed.), *Attention and Implicit Learning*, 335-367. Amsterdam: John Benjamins.
- Frensch, P. A., & Miner, C. S. (1994). Effects of presentation rate and individual differences in short-term memory capacity on an indirect measure of serial learning. *Memory & Cognition*, 22(1), 95-110.
- Frensch, P. A., & R nger, D. (2003). Implicit Learning. *Current Directions in Psychological Science*, 12(1), 13-18.
- Gaillard, V., Vandenberghe, M., Destrebecqz, A., & Cleeremans, A. (2006). First- and third-person approaches in implicit learning research. *Consciousness and Cognition*, 15(4), 709-722.
- Gaschler, R., Wenke, D., Cohen, A., & Frensch, P. A. (submitted). Implicit learning based on action codes.
- Gheysen, F., Gevers, W., De Schutter, E., van Waelvelde, H., & Fias, W. (2009). Disentangling perceptual from motor implicit sequence learning with a serial color-matching task. *Experimental Brain Research*, 197, 163-174.
- Goldstein, E. B. (2001). *Wahrnehmungspsychologie*. Heidelberg: Spektrum.
- Gomez, R. L., & Schvaneveldt, R. W. (1994). What is learned from artificial grammars? Transfer tests of simple association. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20(2), 396-410.
- Goschke, T., & Bolte, A. (2007). Implicit Learning of Semantic Category Sequences: Response-Independent Acquisition of Abstract Sequential Regularities. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(2), 394-406.
- Goschke, T., Friederici, A. D., Kotz, S. A., & van Kampen, A. (2001). Procedural learning in Broca's aphasia: dissociation between the implicit acquisition of



- spatio-motor and phoneme sequences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13(3), 370-388.
- Gray, C. M. (1999). The Temporal Correlation Hypothesis of Visual Feature Integration: Still Alive and Well. *Neuron*, 24, 31-47.
- Gray, C. M., König, P., Engel, A. K., & Singer, W. (1989). Oscillatory responses in cat visual cortex exhibit inter-columnar synchronization which reflects global stimulus properties. *Nature*, 228, 334-337.
- Haider, H., Eichler, A., & Lange, T. (in press). An old problem: How can we distinguish between conscious and unconscious knowledge acquired in an implicit learning task? *Consciousness and Cognition*.
- Haider, H., & Frensch, P. A. (1999). Information reduction during skill acquisition: The influence of task instruction. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 5(2), 129-151.
- Haider, H., & Frensch, P. A. (2002). Why Aggregated Learning Follows the Power Law of Practice When Individual Learning Does Not: Comment on Rickard (1997, 1999), Delaney et al. (1998), and Palmeri (1999). *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 28, 392-406.
- Haider, H., & Frensch, P. A. (2005). The generation of conscious awareness in an incidental learning situation. *Psychological Research*, 69, 399-411.
- Haider, H., & Frensch, P. A. (2009). Conflicts between expected and actually performed behavior lead to verbal report of incidentally acquired sequential knowledge. *Psychological Research*, 73(6), 817-836.
- Haider, H., & Rose, M. (2007). How to investigate insight: A proposal. *Methods*, 42(1), 49-57.
- Hannula, D. E., Simons, D. J., & Cohen, N. J. (2005). Imaging implicit perception: promise and pitfalls. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(3), 247-255.
- Hayes, N. A., & Broadbent, D. E. (1988). Two modes of learning for interactive tasks. *Cognition*, 28, 249-276.

- Heuer, H., & Schmidtke, V. (1996). Secondary-task effects on sequence learning. *Psychological Research*, 59(2), 119-133.
- Heyes, C. M., & Foster, C. L. (2002). Motor learning by observation: evidence from a serial reaction time task. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55(2), 593-607.
- Holender, D. (1986). Semantic activation without conscious identification in dichotic listening, parafoveal vision, and visual masking: A survey and appraisal. *Behavioral and Brain Sciences*, 9(1), 1-66.
- Hommel, B. (2000). The prepared reflex: Automaticity and control in stimulus-response translation. In S. Monsell & J. Driver (Eds.), *Control of cognitive processes: Attention and performance* (Vol. 18), 247-273. Cambridge: MIT Press.
- Hommel, B., Müsseler, J., Aschersleben, G., & Prinz, W. (2001). The theory of event coding (TEC): A framework for perception and action. *Behavioral and Brain Sciences*, 24, 849-878.
- Howard, J. H., Jr., Mutter, S. A., & Howard, D. V. (1992). Serial pattern learning by event observation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 18(5), 1029-1039.
- Jackson, F. (1982). Epiphenomenal Qualia. *Philosophical Quarterly*, 32, 127-136.
- Jacoby, L. L. (1991). A process dissociation framework: Separating automatic from intentional uses of memory. *Journal of Memory and Language*, 30(5), 513-541.
- Jiang, Y., & Chun, M. M. (2001). Selective attention modulates implicit learning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* 54(4), 1105-1124.
- Jiang, Y., & Leung, A. W. (2005). Implicit learning of ignored visual context. *Psychonomic Bulletin & Review*, 12(1), 100-106.
- Jiménez, L., & Méndez, C. (1999). Which Attention Is Needed for Implicit Sequence Learning? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 25(1), 236-259.
- Jiménez, L., & Méndez, C. (2001). Implicit sequence learning with competing explicit cues. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 54(2), 345-369.

- Jiménez, L., Méndez, C., & Cleeremans, A. (1996). Comparing Direct and Indirect Measures of Sequence Learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 22(4), 948-969.
- Johnston, W. A., & Dark, V. J. (1986). Selective Attention. *Annual Review of Psychology*, 37, 43-75.
- Kanwisher, N. (2001). Neural events and perceptual awareness. *Cognition*, 79, 89-113.
- Keele, S. W., Ivry, R., Mayr, U., Hazeltine, E., & Heuer, H. (2003). The cognitive and neural architecture of sequence representation. *Psychological Review*, 110(2), 316-339.
- Keele, S. W., Jennings, P., Jones, S., Caulton, D., & Cohen, A. (1995). On the Modularity of Sequence Representation. *Journal of Motor Behavior*, 27(1), 17-30.
- Kelly, S. W., & Burton, A. M. (2001). Learning complex sequences: no role for observation? *Psychological Research*, 65(1), 15-23.
- Kinder, A., & Shanks, D. R. (2003). Neuropsychological Dissociations Between Priming and Recognition: A Single-System Connectionist Account. *Psychological Review*, 110(4), 728-744.
- Kinder, A., Shanks, D. R., Cock, J., & Tunney, R. J. (2003). Recollection, Fluency, and the Explicit/Implicit Distinction in Artificial Grammar Learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132(4), 551-565.
- Knopman, D. S., & Nissen, M. J. (1991). Procedural learning is impaired in Huntington's disease: Evidence from the serial reaction time task. *Neuropsychologia*, 29, 245-254.
- Knowlton, B. J., Seth, J. R., & Squire, L. R. (1992). Intact Artificial Grammar Learning In Amnesia: Dissociation of Classification Learning and Explicit Memory for Specific Instances. *Psychological Science*, 3(3), 172-179.
- Knowlton, B. J., & Squire, L. R. (1994). The Information Acquired During Artificial Grammar Learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 20(1), 79-91.

- Koch, I., & Hoffmann, J. (2000). The role of stimulus-based and response-based spatial information in sequence learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 26(4), 863-882.
- Lavie, N. (2005). Distracted and confused? Selective attention under load. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(2), 75-82.
- Levine, J. (1983). Materialism and qualia: The explanatory gap. *Pacific Philosophical Quarterly*, 64, 354-361.
- Lewicki, P., Czyzewska, M., & Hoffman, H. (1987). Unconscious acquisition of complex procedural knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 13(4), 523-530.
- Logan, G. D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review*, 95, 492-557.
- Logan, G. D. (1990). Repetition priming and automaticity: Common underlying mechanisms? *Cognitive Psychology*, 22, 1-35.
- Loftus, G. F. & Masson, M. E. J. (1994). Using confidence intervals in within-subject designs. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1(4), 476-490
- Logan, G. D. (1992). Shapes of reaction time distributions and shapes of learning curves: A test of the instance theory of automacity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 18, 883-914.
- Logan, G. D., Taylor, S. E., & Etherton, J. L. (1999). Attention and automaticity: Toward a theoretical integration. *Psychological Research*, 62, 165-181.
- Marcus, D. J., Karatekin, C., & Markiewicz, S. (2006). Oculomotor evidence of sequence learning on the serial reaction time task. *Memory & Cognition*, 34(2), 420-432.
- Marescaux, P., Luc, F., & Karnas, G. (1989). Modes d'apprentissage selectif et non-selectif et connaissances acquises au controle d'un processus: evaluation d'un modele simule[Selective and nonselective learning modes and acquiring knowledge of process control: Evaluation of a simulated model]. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, 9(2), 239-264.

- Mathews, R. C., Buss, R. R., Stanley, W. B., Blanchard-Fields, F., Cho, J. R., & Druhan, B. (1989). Role of implicit and explicit processes in learning from examples: A synergistic effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15(6), 1083-1100.
- Mayr, U. (1996). Spatial attention and implicit sequence learning: evidence for independent learning of spatial and nonspatial sequences. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 22(2), 350-364.
- Nagel, T. (1974). What is it like to be bat? *Philosophical Review*, 83, 435-461.
- Nattkemper, D., & Prinz, W. (1997). Stimulus and response anticipation in a serial reaction task. *Psychological Research*, 60, 98-112.
- Nissen, M. J., & Bullemer, P. (1987). Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. *Cognitive Psychology*, 19(1), 1-32.
- Nissen, M. J., Knopman, D. S., & Schacter, D. L. (1987). Neurochemical dissociation of memory systems. *Neurology*, 37(5), 789-794.
- Perruchet, P., & Amorim, M. A. (1992). Conscious knowledge and changes in performance in sequence learning: evidence against dissociation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 18(4), 785-800.
- Perruchet, P., Bigand, E., & Benoit-Gonin, F. (1997). The emergence of explicit knowledge during the early phase of learning in sequential reaction time. *Psychological Research*, 60, 4-14.
- Perruchet, P., & Pacteau, C. (1990). Synthetic grammar learning: Implicit rule abstraction or explicit fragmentary knowledge? *Journal of Experimental Psychology: General*, 119(3), 264.
- Perruchet, P., & Vinter, A. (2002). The self-organizing consciousness. *Behavioral and Brain Sciences*, 25(3), 297-388.
- Perruchet, P., Vinter, A., & Gallego, J. (1997). Implicit learning shapes new conscious percepts and representations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4(1), 43-48.
- Persaud, N., & McLeod, P. (2008). Wagering demonstrates subconscious processing in a binary exclusion task. *Consciousness and Cognition*, 17(3), 565-575.

- Persaud, N., McLeod, P., & Cowey, A. (2007). Post-decision wagering objectively measures awareness. *Nature Neuroscience*, 10(2), 257-261.
- Persaud, N., McLeod, P., & Cowey, A. (2008). Commentary to Note by Seth: experiments show what post-decision wagering measures. *Consciousness and Cognition*, 17(3), 984-985.
- Reber, A. S. (1967). Implicit Learning of Artificial Grammars. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 6, 855-863.
- Reber, A. S. (1969). Transfer of syntactic Structure in Synthetic Languages. *Journal of Experimental Psychology*, 81(1), 115-119.
- Reber, A. S. (1989). Implicit learning and tacit knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118(3), 219-235.
- Reber, A. S., Kassin, S. M., Lewis, S., & Cantor, G. (1980). On the relationship between implicit and explicit modes in the learning of a complex rule structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 6(5), 492-502.
- Reber, A. S., & Lewis, S. (1977). Implicit learning: An analysis of the form and structure of a body of tacit knowledge. *Cognition*, 5(4), 333-361.
- Reber, A. S., & Squire, L. R. (1994). Parallel brain systems for learning with and without awareness. *Learning & Memory*, 1, 217-229.
- Reber, A. S., & Squire, L. R. (1998). Encapsulation of Implicit and Explicit Memory in Sequence Learning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(2), 248-263.
- Reed, J., & Johnson, P. (1994). Assessing implicit learning with indirect tests: Determining what is learned about sequence structure. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 20(3), 585-594.
- Reingold, E. M., & Merikle, P. M. (1988). Using direct and indirect measures to study perception without awareness. *Percept Psychophys*, 44(6), 563-575.
- Remillard, G. (2003). Pure perceptual-based sequence learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition* 29(4), 581-597.

- Remillard, G. (2009). Pure perceptual-based sequence learning: A role for visuospatial attention. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 35(2), 528-541.
- Rose, M., Haider, H., & Büchel, C. (2005). Unconscious Detection of Implicit Expectancies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17(6), 918-927.
- Rose, M., Haider, H., & Büchel, C. (2010). The Emergence of Explicit Memory during Learning. *Cerebral Cortex*, 20(12), 2787-2797.
- Rose, M., Haider, H., Weiller, C., & Büchel, C. (2002). The Role of Medial Temporal Lobe Structures in Implicit Learning: An Event-Related fMRI Study. *Neuron*, 36, 1221-1231.
- Rosenthal, D. M. (1993). State consciousness and Transitive Consciousness. *Consciousness and Cognition*, 2, 355-363.
- Rosenthal, D. M. (1997). A Theory of Consciousness. In N. Block, O. Flanagan & G. Güzeldere (Eds.), *The Nature of Consciousness: Philosophical Debates*, 729-754. Cambridge: MIT Press.
- Rosenthal, D. M. (2000a). Consciousness, Content, and Metacognitive Judgements. *Consciousness and Cognition*, 9, 203-214.
- Rosenthal, D. M. (2000b). Metacognition and Higher-Order Thoughts. *Consciousness and Cognition*, 9, 231-242.
- Rowland, L. A., & Shanks, D. R. (2006). Attention modulates the learning of multiple contingencies. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(4), 643-648.
- Rünger, D., & Frensch, P. A. (2008). How incidental sequence learning creates reportable knowledge: the role of unexpected events. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 34(5), 1011-1026.
- Schmidtke, V., & Heuer, H. (1997). Task integration as a factor in secondary-task effects on sequence learning. *Psychological Research*, 60, 53-71.
- Schvaneveldt, R. W., & Gomez, R. L. (1998). Attention and probabilistic sequence learning. *Psychological Research*, 61, 175-190.
- Searle, J. (1997). *The Mystery of Consciousness*. London: Granta Books.

- Servan-Schreiber, E., & Anderson, J. R. (1990). Learning artificial grammars with competitive chunking. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16(4), 592-608.
- Seth, A. K. (2008). Post-decision wagering measures metacognitive content, not sensory consciousness. *Consciousness and Cognition*, 17(3), 981-983.
- Shanks, D. R. (2003). Attention and awareness in "implicit" sequence learning. In L. Jiménez (Ed.), *Attention and implicit learning, Advances in Consciousness Research* (Vol. 48), 11-42. Amsterdam: John Benjamins Publishing Company.
- Shanks, D. R., Green, R. E. A., & Kolodny, J. A. (1994). A Critical Examination of the Evidence for Unconscious (Implicit) Learning. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and Performance* (Vol. 15), 837-860. Cambridge: MIT Press.
- Shanks, D. R., & Johnstone, T. (1999). Evaluating the relationship between explicit and implicit knowledge in a sequential reaction time task. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 25(6), 1435-1451.
- Shanks, D. R., Rowland, L. A., & Ranger, M. S. (2005). Attentional load and implicit sequence learning. *Psychological Research*, 69(5-6), 369-382.
- Shanks, D. R., & St. John, M. F. (1994). Characteristics of Dissociable Human Learning Systems. Abgerufen: 5. 1. 2011, <http://www.bbsonline.org/Preprints/OldArchive/bbs.shanks.html>
- Shanks, D. R., Wilkinson, L., & Channon, S. (2003). Relationship between priming and recognition in deterministic and probabilistic sequence learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 29(2), 248-261.
- Simon, J. R. (1990). The effects of an irrelevant directional cue on human information processing. In R. W. Proctor & T. G. Reeve (Eds.), *Stimulus-response compatibility: An integrated perspective*, 183-223. Amsterdam: North-Holland.
- Squire, L. R. (1992). Memory and the Hippocampus: A Synthesis From Findings With Rats, Monkeys And Humans. *Psychological Review*, 99(2), 195-231.
- Stadler, M. A. (1993). Implicit serial learning: Questions inspired by Hebb (1961). *Memory & Cognition*, 21, 819-827.



- Stadler, M. A. (1995). Role of Attention in Implicit Learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 21(3), 674-685.
- Stadler, M. A. (1997). Distinguishing implicit and explicit learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4(1), 56-62.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643-662.
- Tononi, G., & Edelman, G. M. (1998). Consciousness and Complexity. *Science*, 282, 1846-1851.
- Tubau, E., Hommel, B., & López-Moliner, J. (2007). Modes of Executive Control in Sequence Learning: From Stimulus-Based to Plan-Based Control. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(1), 43-63.
- Velmans, M. (1991). Consciousness from a first-person perspective. *Behavioral and Brain Sciences*, 14, 702-726.
- Velmans, M. (2009). How to define consciousness - and how not to define consciousness. *Journal of Consciousness Studies*, 16(5), 139-165.
- von der Marlsburg, C. (1986). Am I thinking assemblies? In G. Palm & A. Aertsen (Eds.), *Brain Theory*, 161-176. Berlin: Springer.
- von der Marlsburg, C. (1999). The What and Why of Binding: The Modeler's Perspective. *Neuron*, 24, 95-104.
- Wenke, D., & Frensch, P. A. (2005). The Influence of Task Instruction on Action Coding: Constraint Setting or Direct Coding? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(4), 803-819.
- Wilkinson, L., & Shanks, D. R. (2004). Intentional control and implicit sequence learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 30(2), 354-369.
- Willingham, D. B. (1998). A neuropsychological theory of motor skill learning. *Psychological Review*, 105(3), 558-584.
- Willingham, D. B. (1999). Implicit motor sequence learning is not purely perceptual. *Memory & Cognition*, 27(3), 561-572.

- Willingham, D. B., Greeley, T., & Bardone, A. M. (1993). Dissociation in a serial response time task using a recognition measure: Comment on Perruchet and Amorim (1992). *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 19(6), 1424-1430.
- Willingham, D. B., Greenberg, A. R., & Thomas, R. C. (1997). Response-to-stimulus interval does not affect implicit motor sequence learning, but does affect performance. *Memory & Cognition*, 25(4), 534-542.
- Willingham, D. B., Nissen, M. J., & Bullemer, P. (1989). On the development of procedural knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 15(6), 1047-1060.
- Zirngibl, C., & Koch, I. (2002). The impact of response mode on implicit and explicit sequence learning. *Experimental Psychology*, 49(2), 153-162.